



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Aspectos ambientales y de manejo que determinan el crecimiento del kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov. Morrone) en la Provincia de Ubaté

Ruth Amanda Acero Camelo

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia
Bogotá, Colombia
2019

Aspectos ambientales y de manejo que determinan el crecimiento del kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov. Morrone) en la Provincia de Ubaté

Ruth Amanda Acero Camelo

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Doctor en ciencias en Producción Animal

Director:

Ph.D. Juan Evangelista Carulla Fornaguera

Codirector:

Ph.D. Gerhard Fischer

Línea de Investigación:

Línea de investigación en nutrición animal

Grupo de Investigación:

Grupo de investigación en nutrición animal

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia

Bogotá, Colombia

2019

A mi familia por su amor y apoyo incondicional, a mi esposo y compañero de viaje, a mi pequeña Natalie Sofía quien me cambió la forma de ver la vida.

Agradecimientos

Al profesor Juan Carulla Fornaguera director de la tesis, por su orientación, enseñanzas, acompañamiento y dedicación.

Al profesor Gerhard Fischer por su asesoría y acompañamiento

A la profesora Martha Lucía Pabón por su apoyo y colaboración

Al profesor Jorge Triana por su apoyo en las actividades de campo

Al profesor Alfonso Parra por su asesoría y colaboración

A la profesora Nhora Martínez por su asesoría en la parte estadística

Al equipo de profesionales y estudiantes del proyecto "*Innovación, Ciencia y Tecnología para productores de leche en la provincia de Ubaté*" por su apoyo en las actividades de campo

A las profesionales del laboratorio de nutrición animal Carol y Luisa por toda su colaboración

A los productores de la provincia de Ubaté que prestaron amablemente los espacios en sus fincas para poder realizar este estudio

A las entidades que colaboraron con el desarrollo de esta tesis:

-Colciencias – Colfuturo, financiador de la beca doctoral

-Sistema General de Regalías y la Gobernación de Cundinamarca: financiadores del proyecto *Innovación, Ciencia y Tecnología para productores de leche en la provincia de Ubaté* en el cual se enmarcó este trabajo

- Universidad Nacional de Colombia por el aporte en recurso humano e infraestructura

- Universidad de la Salle por el aporte en recurso humano e infraestructura

- Universidad de Cundinamarca – Ubaté por el apoyo con espacios físicos

Resumen

Este trabajo tuvo como objetivos principales, caracterizar el crecimiento del pasto kikuyo en la provincia de Ubaté de acuerdo a la altitud, los factores ambientales y las características del suelo y determinar el momento óptimo de cosecha del kikuyo de acuerdo al número de hojas por estolón y la fertilización nitrogenada. Para ello se llevaron a cabo tres experimentos. En el primero se establecieron parcelas de 100m² en 9 fincas ubicadas a diferente altitud. Cada parcela se dividió en 6 sub-parcelas en las cuales se realizaron cortes a los 15, 30, 45, 60, 75 y 90 días. Se realizó un análisis de regresión lineal múltiple para determinar las variables que más influyeron en la acumulación de materia seca (MS), la altura sin disturbar de la pradera (ASD) y el índice de área foliar (IAF). A mayor altitud (menor temperatura), el kikuyo perdió capacidad para competir con otras especies y la parcelas se volvieron polifíticas. Las tasas de crecimiento fueron mayores en las parcelas de kikuyo (60 kg MS ha⁻¹) que en las parcelas polifíticas (30 kg MS ha⁻¹). La precipitación aumentó la producción de MS, el IAF y la ASD. No hubo efecto de las variables asociadas al suelo incluidas en el modelo (pH y CIC). En el segundo experimento se establecieron 3 parcelas de 1m² en tres fincas ubicadas a diferente altitud, en las cuales se marcaron estolones de kikuyo para medir la tasa de aparición de hojas y determinar la temperatura base de crecimiento por el método de mínimo coeficiente de variación. La temperatura base de crecimiento fue de 4°C y se encontró que el tiempo térmico para la aparición de la primera hoja (97,5 GDC) fue mayor que para la segunda (74,2 GDC), tercera (73,8 GDC) y cuarta hoja (76,0 GDC) aspecto relacionado con la movilización de carbohidratos de reserva para el rebrote. El tercer experimento se llevó a cabo en macetas bajo invernadero. Se evaluaron cuatro niveles de nitrógeno (0, 50, 100 y 150 kg N ha⁻¹ año⁻¹) y cuatro estados de hojas (3, 4, 5 y 6 hojas por estolón) bajo un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 4*4. La calidad nutricional fue mejor en el estado de 3 a 4 hojas, mientras que en los estados de 5 y 6 hojas se presentó la mayor acumulación de materia seca (p<0,05). La fertilización nitrogenada aumentó la ASD, la densidad de estolones, la producción de

materia seca a partir de hojas, tallos y forraje vivo, la relación forraje vivo:forraje muerto y la calidad nutricional (mayores contenidos de PC y menores contenidos de FDN) ($p < 0,05$). Se encontró que sin fertilización y poco N disponible en el suelo, difícilmente se alcanza la biomasa recomendada para el ingreso de los animales ($2500 \text{ kg MS ha}^{-1}$) en el estado de 6 hojas. Con niveles de fertilización nitrogenada de 100 kg ha^{-1} es posible cosechar en el estado de 5 hojas por estolón y con cantidades adicionales es posible cosechar en los estados de 3 y 4 hojas.

Palabras clave: kikuyu, temperatura base, filocrono, fertilización nitrogenada, tiempo térmico

Abstract

This research had two main objectives, to characterize the growth of the kikuyo grass in the province of Ubaté according to the altitude, environmental factors and soil characteristics and to determine the optimum harvest time of the kikuyo according to the leaf stage and nitrogen fertilization. Three experiments were carried out. In the first, plots of 100 m² were established in 9 farms located at different altitudes. Each plot was divided into 6 sub-plots in which cuts were made at 15, 30, 45, 60, 75 and 90 days. A multiple linear regression analysis was carried out to determine the variables that most influenced dry matter production (DM), undisturbed height (UH) and leaf area index (LAI). At higher altitude (lower temperature), the kikuyo loses ability to compete with other species and the plots become polyphytic. Growth rates were higher in kikuyo grasslands (60 kg DM ha⁻¹) than in polyphytic grasslands (30 kg DM ha⁻¹). Precipitation increases DM yield, LAI and UH. There was no effect of the variables associated with the soil included in the model (pH and CIC). In the second experiment 3 plots of 1m² were established in three farms located at different altitudes, in which kikuyo stolons were marked to measure the leaf appearance rate and determine the base temperature for growth (bT) by the least coefficient of variation method. The bT was 4 °C and the thermal time for the appearance of the first leaf (97.5 GDD) was higher than for the second (74.2 GDD), third (73.8 GDD) and fourth leaf (76.0 GDD), aspect related to the mobilization of reserve carbohydrates for regrowth. The third experiment was carried out in pots under greenhouse. Four nitrogen levels (0, 50, 100 and 150 kg N ha⁻¹ year⁻¹ and four leaf stages (3, 4, 5 and 6 leaves per stolon) were evaluated in a completely randomized design with a factorial arrangement 4*4. The nutritional quality was better in the stage 3 to 4 leaves and the DM production was higher in 5 and 6 leaves (p<0,05). Nitrogen fertilization increases UH, density of stolons, production of DM from leaves, stems and green forage, the ratio of green forage: dead forage and nutritional quality (higher CP contents and lower contents of NDF) (p<0,05). Without fertilization and little N available in the soil, it is difficult to reach the biomass recommended for grazing (2,500 kg DM ha⁻¹) at 6 leaf stage. With 100

kg N ha⁻¹ It is possible to harvest at 5 leaf stage and above this level of fertilization, it is possible to harvest in the stages of 3 to 4 leaves.

Keywords: kikuyu, base temperature for growth, phyllochron, nitrogen fertilization, thermal time

Contenido

	Pág.
Resumen.....	IX
Abstract.....	XI
Lista de figuras.....	XVI
Lista de tablas.....	XIX
Lista de abreviaturas.....	XXI
Introducción.....	1
Referencias bibliográficas.....	4
1.El pasto kikuyo (<i>Cenchrus clandestinus</i> Hochst. Ex Chiov.Morrone).....	7
Resumen.....	7
Abstract.....	9
1.1 Introducción.....	10
1.2 Morfología del kikuyo.....	11
1.3 Origen y distribución geográfica.....	13
1.4 Influencia de los factores ambientales en el crecimiento del pasto kikuyo.....	14
1.4.1. Temperatura.....	14
1.4.2. Radiación.....	15
1.4.3. Agua.....	16
1.4.4. Suelo y nutrientes.....	18
1.4.5. Factores asociados al pastoreo que influyen en el crecimiento del pasto kikuyo.....	19
1.4.6. Frecuencia de pastoreo.....	19
1.4.7. Intensidad de pastoreo.....	22
1.5. Calidad nutricional del pasto kikuyo.....	24
1.6. Potencial del pasto kikuyo para la producción de leche.....	25
1.7. Conclusiones.....	26
1.8. Referencias Bibliográficas.....	28
2. Caracterización del crecimiento de las pasturas en la provincia de Ubaté de acuerdo a la altitud y las condiciones edafoclimáticas.....	35
Resumen.....	35
Abstract.....	36
2.1 Introducción.....	37
2.2 Materiales y métodos.....	39
2.2.1 Selección de las fincas y establecimiento de las parcelas.....	39
2.2.2 Toma y procesamiento de muestras.....	40
2.2.3 Análisis estadístico.....	41

2.3 Resultados.....	42
2.3.1 Condiciones edafo-climáticas.....	42
2.3.2 Composición botánica.....	44
2.3.3 Producción de materia seca.....	46
2.3.4 Altura de la pradera.....	49
2.3.5 Índice de área foliar.....	52
2.3.6 Calidad nutricional.....	54
2.4 Discusión.....	55
2.5 Conclusiones.....	59
2.6 Referencias Bibliográficas.....	60
3. Temperatura base de crecimiento y filocrono para el pasto kikuyo (<i>Cenchrus clandestinus</i> Hochst. ex Chiov. Morrone).....	65
Resumen.....	65
Abstract.....	67
3.1 Introducción.....	68
3.2 Materiales y métodos.....	70
3.2.1 Establecimiento de las parcelas y mediciones.....	70
3.2.2 Determinación de la temperatura base.....	71
3.2.3 Estimación del tiempo térmico (filocrono).....	72
3.3 Resultados.....	73
3.3.1 Temperatura base.....	74
3.3.2 Filocrono.....	75
3.4 Discusión.....	77
3.5 Conclusiones.....	80
3.6 Referencias Bibliográficas.....	81
4. Momento óptimo de cosecha para el kikuyo de acuerdo al filocrono y la fertilización nitrogenada.....	85
Resumen.....	85
Abstract.....	87
4.1 Introducción.....	88
4.2 Materiales y Métodos.....	89
4.2.1 <i>Tratamientos y variables</i>	90
4.2.2 Mediciones y Análisis de las muestras.....	91
4.2.3 Análisis estadístico.....	92
4.3 Resultados.....	94
4.3.1 Producción de materia seca.....	94
4.3.2 Composición Química.....	97
4.3.3 Variables estructurales y filocrono.....	100
4.4 Discusión.....	100
4.4.1 Número de hojas por estolón.....	101
4.4.2 Fertilización nitrogenada.....	103
4.5 Conclusiones.....	105
4.6 Referencias Bibliográficas.....	106
5. Discusión general y recomendaciones.....	111
Anexo 1. Salidas análisis estadístico experimento 1.....	115
Anexo 2. Salidas análisis estadístico experimento 2.....	119
Anexo 3. Salidas análisis estadístico experimento 3.....	121

Lista de figuras

Pág.

Figura 1. Participación del kikuyo en la composición botánica de las praderas en la zona alta (ZA), zona media (ZM) y zona baja (ZB) a los 90 días en las diferentes épocas.....	45
Figura 2. Participación del kikuyo en la composición botánica de las praderas en la zona alta (ZA), zona media (ZM) y zona baja (ZB) a diferentes edades.....	45
Figura 3. Producción de materia seca en praderas de kikuyo en los diferentes ciclos de mediciones.....	46
Figura 4. <i>Producción de materia seca en praderas polifíticas en las diferentes épocas.....</i>	48
Figura 5. <i>Comportamiento de la altura sin disturbar del kikuyo en los diferentes ciclos de mediciones. A praderas polifíticas, B praderas de kikuyo.....</i>	49
Figura 6. Relación entre la ASD y la producción de MS en praderas de kikuyo. A: Época de baja precipitación, B: Época de lluvias.....	51
Figura 7. Comportamiento del índice de área foliar del kikuyo en los diferentes ciclos de mediciones. A praderas polifíticas, B praderas de kikuyo.....	52
Figura 8. Comportamiento de la proteína cruda en praderas de kikuyo y praderas polifíticas de acuerdo a la edad.....	54
Figura 9. Comportamiento de la FDN y la FDA en praderas de kikuyo y praderas polifíticas de acuerdo a la edad.....	55
Figura 10. Comportamiento de la DIVMS en praderas de kikuyo y praderas polifíticas de acuerdo a la edad.....	55
Figura 11. Temperatura base de crecimiento del pasto kikuyo para diferentes estados de hoja.....	75
Figura 12. <i>Validación cruzada del modelo de temperatura base para el pasto kikuyo para cuatro estados de hojas. A. Comparación de los valores observados vs estimados del tiempo térmico (TT). B. Comparación de los días calendario observados vs estimados.....</i>	77
Figura 13. Producción de hojas, tallos, forraje verde (FV) y forraje muerto (FM) de acuerdo al número de hojas por estolón en el pasto kikuyo.....	96
Figura 14. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la producción de hojas, tallos, forraje verde (FV) y forraje muerto (FM) en el pasto kikuyo.....	96

Figura 15. Contenido de PC (A) y FDN (B) en hojas y tallos de pasto kikuyo a diferentes estados de hoja.....	100
--	-----

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Efecto de la demanda evaporativa y el contenido relativo de agua en el suelo sobre el crecimiento del pasto kikuyo.....	18
Tabla 2. Fincas en las cuales se establecieron las parcelas experimentales.....	40
<i>Tabla 3. Temperatura y precipitación en las diferentes fincas con parcelas experimentales</i>	43
Tabla 4. Análisis de los suelos de las fincas con parcelas experimentales.....	44
Tabla 5. Coeficientes de regresión y estadísticos del modelo para producción de MS en praderas de kikuyo.....	47
Tabla 6. Coeficientes de regresión y estadísticos del modelo para producción de MS en praderas polifíticas.....	49
<i>Tabla 7. Coeficientes de regresión y estadísticos del modelo para ASD</i>	50
<i>Tabla 8. Coeficientes de regresión y estadísticos del modelo para ASD del kikuyo en praderas polifíticas</i>	52
<i>Tabla 9. Coeficientes de regresión y estadísticos del modelo para IAF en praderas de kikuyo</i>	53
<i>Tabla 10. Coeficientes de regresión y estadísticos del modelo para IAF en praderas polifíticas</i>	54
Tabla 11. Información de las fincas en las cuales se establecieron las parcelas.....	70
Tabla 12. Condiciones ambientales registradas para los cuatro ciclos de mediciones.....	74
Tabla 13. Filocrono y días calendario según estado de hojas para el pasto kikuyo.....	76
Tabla 14. Análisis del suelo utilizado en el estudio.....	90
Tabla 15. Producción de materia seca del pasto kikuyo con diferentes niveles de fertilización nitrogenada y diferente número de hojas por estolón.....	95
Tabla 16. Composición química de las hojas de kikuyo con diferentes niveles de fertilización nitrogenada y diferente número de hojas por estolón.....	98

Tabla 17. Composición química de los tallos de kikuyo con diferentes niveles de fertilización nitrogenada y diferente número de hojas por estolón.....	99
--	----

Tabla 18. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la altura sin disturbar, la densidad de estolones y el filocrono en plantas de kikuyo bajo invernadero.....	100
--	-----

Lista de abreviaturas

<i>Abreviatura</i>	<i>Término</i>
ASD	Altura sin disturbar
CIC	Capacidad de intercambio catiónico
DIVMS	Digestibilidad in vitro de la materia seca
EE	Extracto etéreo
FDN	Fibra en detergente neutro
FDA	Fibra en detergente ácido
GDC	Grados días de crecimiento
IAF	Indice de área foliar
MS	Materia seca
PAR	Radiación fotosintéticamente activa
PC	Proteína cruda
ZA	Zona Alta
ZM	Zona Media
ZB	Zona Baja
TT	Tiempo térmico
Tb	Temperatura base

Introducción

La provincia de Ubaté constituye una de las principales cuencas lecheras del país, con una producción de 831.318 litros diarios que representan el 19,1% de la producción total del departamento (Gobernación de Cundinamarca, 2018) y el 9% de la leche acopiada en el país (MADR-USP, 2017). A pesar de la importancia de la producción de leche como actividad económica para la provincia, las fincas presentan una baja productividad (Mayorga, 2012), con promedios de producción de 11.7l/vaca/día (MADR, 2014), encontrando producciones entre 8 y 28 l/vaca/día dependiendo del nivel tecnológico de las explotaciones y su ubicación geográfica.

En la provincia de Ubaté, la especie forrajera predominante es el pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov. Morrone), una gramínea originaria de África, que ingresó a Colombia en 1928 de las Antillas (Ochoa, 1941) y que actualmente ocupa el 80% de las praderas dedicadas a la producción de leche en el trópico de altura (Mila y Corredor, 2004). Esta gramínea se caracteriza por extenderse superficialmente de manera vigorosa formando una pradera densa y persistente, gracias a que posee estolones que pueden alcanzar hasta dos metros de longitud (Muscolo *et al.*, 2013), rizomas gruesos y raíces profundas y ramificadas (Bernal, 1994; Mears, 1970).

En Colombia el kikuyo se encuentra entre los 1500 y 4000 m.s.n.m. (Giraldo- Cañas, 2013), y se ha visto que su productividad y las características de crecimiento cambian en función de la altura sobre el nivel del mar, sin embargo este comportamiento no ha sido documentado. En la Provincia de Ubaté se tienen fincas productoras de leche desde los 2500m.s.n.m hasta los 3.100m.s.n.m. aproximadamente con presencia de kikuyo, concentrándose la mayor parte de los productores en las zonas de ladera.

El kikuyo es una especie con un alto potencial de producción de materia seca (kg/ha/año), sin embargo, a nivel de finca es difícil alcanzarlo. García *et al* (2014) atribuyen la diferencia entre el potencial de producción de materia seca del kikuyo que se ha obtenido en trabajos de investigación y la utilización de materia seca que se logra en

las fincas a un limitado uso de los insumos y al manejo de los sistemas de pastoreo. En cuanto a los insumos, los autores consideran críticos la fertilización nitrogenada y la irrigación, debido a los altos requerimientos de nitrógeno ($>1.000\text{kgN/ha}$) y la alta demanda hídrica ($0.6 - 0.8 \text{ ML/t MS}$) del kikuyo para alcanzar su máximo potencial, lo cual limita al productor desde el punto de vista económico. Con relación al pastoreo, resaltan la importancia de lograr una sincronía entre las tasas de crecimiento y la cosecha, de manera que se minimicen las pérdidas por senescencia y se maximice el crecimiento neto, lo cual se logra con un manejo adecuado de la frecuencia de pastoreo.

En el caso de la provincia de Ubaté la mayoría de las fincas no cuenta con sistemas de riego, por lo que la disponibilidad de agua en el suelo está determinada por la precipitación. La provincia de Ubaté tiene un régimen de lluvias bimodal, es decir que tiene dos periodos de lluvias y dos periodos secos durante el año, encontrando dentro de la provincia zonas más secas, cuyos periodos de lluvias son más cortos o menos intensos. Conocer el impacto de la precipitación sobre el crecimiento y productividad de las pasturas resulta fundamental para la planeación de los sistemas de pastoreo y los sistemas de alimentación de las fincas a mediano y largo plazo.

Como se mencionó anteriormente, un aspecto que debe ser considerado para mejorar la productividad de las praderas de kikuyo es la frecuencia de pastoreo. En la provincia de Ubaté se manejan intervalos de pastoreo a tiempos fijos (rangos de 60 a 90 días), sin tener en cuenta el estado de desarrollo de la planta y las variaciones en las condiciones climáticas durante el año. Un método disponible para definir la frecuencia de pastoreo es el número de hojas por estolón, el cual se relaciona con el recambio foliar de la planta y el inicio de la senescencia (Fulkerson y Donaghy, 2001). Este método se ha trabajado en varias especies forrajeras, identificando el número óptimo de hojas en el cual las reservas de la planta permitan sostener el rebrote y en donde se logre la mayor producción de materia seca sin que se haya dado inicio a la senescencia, para evitar acumulación de material muerto y de baja calidad. En el caso del pasto kikuyo el trabajo realizado por Reeves y Fulkerson (1996) mostró como momento óptimo de cosecha el estado de 4,5 hojas, considerando que posterior a este momento la calidad de la pastura disminuye. Sin embargo, el trabajo realizado por Fonseca *et al.* (2016) en el departamento de Boyacá, concluyó que el momento óptimo de cosecha puede estar entre las 4,5 hojas y hasta las 6 hojas por estolón, considerando una mayor cantidad de fitomasa en el estado de 6 hojas, sin cambios importantes en la calidad nutricional del kikuyo.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, en este trabajo se plantearon tres objetivos encaminados a generar información que pudiera ser útil para formular recomendaciones de manejo del kikuyo que permitieran mejorar la productividad y eficiencia de uso de las pasturas en los sistemas de producción de leche de la provincia de Ubaté. El primero fue determinar la influencia de las variaciones en altitud, temperatura, precipitación y características del suelo sobre la producción de materia seca, los índices de crecimiento del pasto kikuyo y la calidad nutricional. El segundo determinar la temperatura a partir de la cual inicia el crecimiento del pasto kikuyo a través de la tasa de aparición de hojas y el tercero establecer el momento apropiado para el pastoreo de acuerdo al número de hojas por estolón y la fertilización nitrogenada. Los resultados son discutidos a continuación.

Referencias bibliográficas

Bernal J. 1994. Pastos y Forrajes Tropicales. Producción y Manejo. 3ª Edición. Bogotá, Colombia: Banco Ganadero. 575p.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. 2014. Tercer Censo Nacional Agropecuario. Colombia.

Fonseca C, Balocchi O, Keim J P, Rodríguez C. 2016. Efecto de la frecuencia de defoliación en el rendimiento y composición nutricional de *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov. Agro Sur 44 (3): 67-76.

Fulkerson WJ, Donaghy DJ. 2001. Plant-soluble carbohydrate reserves and senescence – key criteria for developing an effective grazing management system for ryegrass-based pastures: a review. Aust J Esp Agr. 41:261- 275.

García S C, Islam M R, Clark C E F, Martin P M. 2014. Kikuyu-based pasture for dairy production: a review. Crop and Pasture Science. Journal Compilation CIRO.

Giraldo-Cañas D. 2013. Las gramíneas en Colombia riqueza, distribución, endemismo, invasión, migración, usos y taxonomías populares. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C., Colombia.

Gobernación de Cundinamarca. 2018. Evaluaciones agropecuarias del departamento de Cundinamarca. Estadísticas Actividades Pecuarias.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2017. Unidad de seguimiento de precios de la leche – USP Mayo de 2017.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2014. Unidad de seguimiento de precios de la leche – USP Mayo de 2014.

Mayorga J. 2012. Medición de la productividad de las fincas productoras de leche del municipio de Ubaté Cundinamarca y su impacto en el uso de los recursos de uso común RUC. XVII En: Congreso Internacional de Contaduría, Administración e Informática. 2012 Octubre 3 – 5, México, D.F.

Mears PT. 1970. Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) as a pasture grass- A review. Trop Grasslands 4(2): 139-152.

Mila A, Corredor G. 2004. Evaluación de la composición botánica de una pradera de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) recuperada mediante escarificación mecánica y

fertilización con compost. Rev Corpoica 5 (1): 70-75.

Muscolo A, Panuccio MR, Escel A. 2013. Ecophysiology of *Pennisetum clandestinum*: a valuable salt tolerant grass. Environ Exp Bot 92: 55-63.

Ochoa R, H.1941. Anotaciones sobre pastos. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín 4 (11): 1144-1149.

Reeves M, Fulkerson WJ. 1996. Establishment of an optimal grazing time of kikuyu pastures for dairy cows. In: Proceedings of the 8th Australian Agronomy Conference; 1996 Enero 30 – Febrero 2, Toowoomba, Queensland. 4p.

1.El pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hochst. Ex Chiov.Morrone)

**Amanda Acero-Camelo¹, Zoot, MSc; Jorge Fernando Triana Valenzuela, MV, MSc²;
Martha Lucía Pabón¹, Quim, MSc, PhD; Gerhard Fischer ³, Ing. Hort., MSc, PhD;
Juan E. Carulla ¹, MSc, PhD;**

¹Grupo de Investigación en Nutrición Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., ²Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de la Salle, ³Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia

Resumen

El pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov. Morrone) es una gramínea C4, perenne, originaria de África. Fue introducido a Colombia en 1928 proveniente de las Antillas y actualmente ocupa el 80% de las praderas dedicadas a la producción de leche en el trópico de altura. Se caracteriza por formar praderas densas y persistentes, gracias a la presencia de numerosos estolones y rizomas.

La temperatura óptima de crecimiento del kikuyo está entre 16 y 21°C. Es una especie eficiente en el uso del agua en comparación con otras gramíneas forrajeras y aprovecha el agua presente en el suelo a través de su desarrollado sistema radicular, sin embargo, el déficit hídrico, principalmente inducido por la evaporación disminuye de manera importante su crecimiento. El kikuyo responde bien a la fertilización nitrogenada, pero el nivel de respuesta está influenciado por la interacción con otros factores como la disponibilidad de agua, los niveles de fósforo, potasio y magnesio y el uso de cal en suelos altos en aluminio.

Su calidad nutricional se caracteriza por tener adecuados niveles de proteína (12-28%),

altos contenidos de FDN ($58.3\% \pm 1.51$) y FDA ($27\% \pm 0.84$), baja a media digestibilidad (63.6 ± 3.54) y moderado aporte energético (2.2McalEM). Se destacan los niveles bajos de Ca y Na y los niveles altos de K. Con esta calidad nutricional es posible alcanzar producciones bajo pastoreo de hasta 13l/vaca sin suplementación, siempre y cuando se maneje adecuadamente el sistema de pastoreo. Dentro de los factores asociados al manejo del pastoreo se deben tener en cuenta la frecuencia de pastoreo y la intensidad del pastoreo, buscando cosechar un forraje de buena calidad y hacer un uso eficiente de la pastura.

Palabras clave: kikuyu, pasturas de trópico alto, manejo de pastoreo

Abstract

Kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov. Morrone) is a C4 grass, perennial, native to Africa. It was introduced to Colombia in 1928 from the Antilles and currently occupies 80% of the swards dedicated to the production of milk in the high altitude tropics. Kikuyo grows prostrate and forms vigorous and persistent meadows through the presence of numerous stolons and rhizomes.

The optimum growth temperature of the kikuyo is between 16 and 21°C. It is an efficient species in the use of water in comparison with other forage grasses and takes advantage of the water present in the soil through its developed root system, however the water deficit, mainly induced by evaporation, significantly diminishes its growth. Kikuyo responds well to nitrogen fertilization, but the level of response is influenced by the interaction with other factors such as water availability, phosphorus, potassium and magnesium levels and the use of lime in high aluminum floors.

Its nutritional quality is characterized by having adequate levels of protein (12-28%), high contents of NDF ($58.3\% \pm 1.51$) and FDA ($27\% \pm 0.84$), low to medium digestibility (63.6 ± 3.54) and moderate energy intake (2.2McalEM). The low levels of Ca and Na and the high levels of K stand out. With this nutritional quality it is possible to reach grazing productions of up to 13l / cow without supplementation, as long as the grazing system is properly managed. Among the factors associated with grazing management should be taken into account is the frequency of grazing and the intensity of grazing, seeking to harvest a good quality forage and make efficient use of the pasture.

Keywords: kikuyu, high altitude tropics, grazing management

1.1 Introducción

El forraje representa el recurso alimenticio más económico para los rumiantes y en él debe estar sustentada la producción de leche. Países como Nueva Zelanda y Australia han logrado tener los menores costos de producción por litro de leche, al basar sus sistemas de alimentación en la pastura, haciendo un uso muy eficiente de la misma (Dillon *et al.*, 2008).

El objetivo principal de un plan de manejo de pasturas es producir la mayor cantidad de forraje de buena calidad con el mínimo de desperdicio posible (Parga *et al.*, 2007). Para lograr este objetivo se debe conocer la especie o especies forrajeras presentes en la pastura, sus hábitos de crecimiento, las tasas de acumulación de materia seca durante las diferentes épocas del año y los cambios en la calidad nutricional por efectos del manejo y la senescencia. Conociendo estos aspectos, es posible tomar decisiones acertadas sobre la carga animal, el momento óptimo de cosecha y la intensidad de pastoreo, buscando satisfacer los requerimientos de los animales, manteniendo el buen estado de las praderas y maximizando las utilidades por unidad de área.

En la provincia de Ubaté, la especie forrajera predominante es el pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov. Morrone), una gramínea originaria de África que ingresó a Colombia en 1928 proveniente de las Antillas (Ochoa, 1941), adaptándose muy bien y ocupando actualmente el 80% de las praderas dedicadas a la producción de leche en el trópico de altura (Mila y Corredor, 2004).

El kikuyo se caracteriza por su crecimiento estolonífero y su desarrollado sistema radicular que le dan un carácter invasivo, al punto de ser considerado una maleza en los Estados Unidos (USDA, 2014). No obstante, este tipo de crecimiento es el que le permite formar praderas muy densas y resistentes al pastoreo intensivo. Aunque en calidad nutricional esta especie tiene algunas deficiencias como un moderado aporte energético y un desbalance de minerales (García *et al.*, 2014; Marais, 2001), presenta como ventaja productiva su alta capacidad para acumular materia seca, alcanzando producciones de hasta 30.000tMS/ha/año (García *et al.*, 2014).

En esta revisión de literatura se describen las características morfológicas del pasto kikuyo, que difieren de las de otras especies presentes en el trópico de altura, la

influencia de los principales factores ambientales en su crecimiento y los aspectos a tener en cuenta en el manejo de los sistemas de pastoreo. Bajo esta mirada, con un manejo adecuado y una suplementación mineral que corrija los desbalances propios de esta especie, el pasto kikuyo tiene potencial para ser usado en sistemas que tengan como objetivo maximizar la producción por unidad de área, sacrificando altas producciones por animal, las cuales se pueden mejorar con una adecuada suplementación.

1.2 Morfología del kikuyo

El pasto kikuyo es una gramínea C4 que se caracteriza por crecer superficialmente de manera vigorosa y formar praderas muy densas y persistentes. Este crecimiento obedece a la presencia de numerosos estolones y rizomas que pueden alcanzar longitudes de 2 metros o más (Muscolo *et al.*, 2013) y de raíces profundas y ramificadas que se forman en los nudos de los rizomas (Bernal, 1994; Mears, 1970). El estolón más largo es usualmente rastrero, con internudos muy cortos, pequeñas hojas y raíces en los nudos (Damanakis y Yannitsaros ,1986) (Imagen 1).

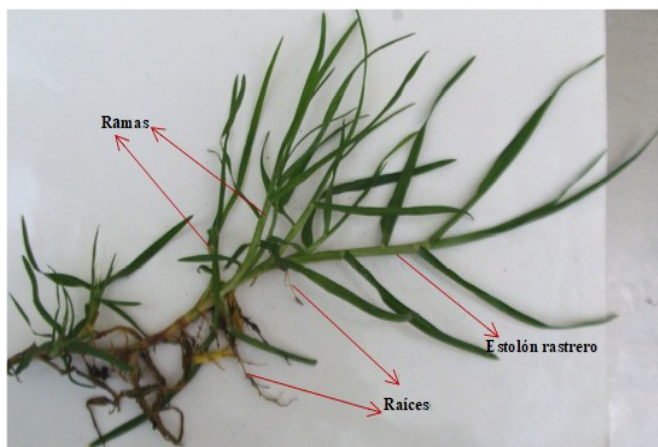


Imagen 1. Estolón rastrero de kikuyo

De los estolones del kikuyo brotan las ramas, las cuales pueden alcanzar una altura hasta de 120cm . Los estolones rastreros son normalmente más gruesos que las ramas

aéreas (Damanakis y Yannitsaros, 1986). En las ramas se encuentran las hojas, que al inicio están fuertemente enrolladas y posteriormente se expanden (Mears, 1970). Las hojas están conformadas por la lámina y la vaina y presentan una lígula membranosa. La lígula se caracteriza por ser un anillo con vellos o cilia y tiene un color amarillo pálido en el cuello o collar, que es el punto de unión entre la vaina y la lámina (Van Der Colf, 2011; Damanakis y Yannitsaros, 1986) (Imagen 2).

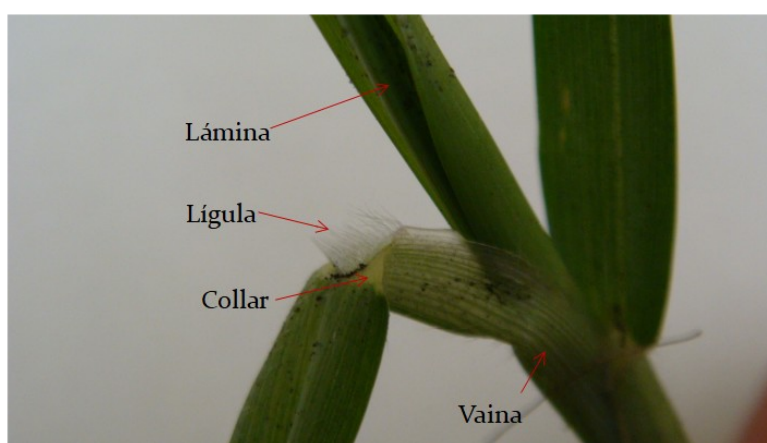


Imagen 2. Estructura de la hoja del kikuyo

Las hojas del kikuyo pueden alcanzar longitudes entre 4,5 y 20cm (Bernal, 1994; Mears, 1970), dependiendo de las condiciones ambientales en que se desarrolle la planta y la disponibilidad de nitrógeno en el suelo. El ancho de la lámina de la hoja fluctúa entre 6 y 15mm (Bernal, 1994; Mears, 1970).

La flor del kikuyo es pequeña y está constituida por una espiga, con 2 o 4 espículas subsésiles que están parcialmente encerradas en las vainas de las hojas superiores, y solo la parte más alta (2 – 8mm) es visible (Damanakis y Yannitsaros, 1986; Mears, 1970). Las espículas son bisexuales o funcionalmente unisexuales (Mears, 1970). La flor es protógina, los estambres son blanquecinos, brillantes y efímeros, aparecen al inicio de la mañana y desaparecen con el calor del sol (Bernal, 1994). El estigma es ramificado y plumoso (Mears, 1970). La semilla es de color café oscuro, plana y ovoide, con un

tamaño de 1.5 por 2.5mm (Van Der Colf, 2011). Las semillas se producen en las axilas de las hojas en donde quedan ocultas, de ahí el nombre de “clandestinus” (Bernal, 1994).

El kikuyo se reproduce comúnmente de forma vegetativa, a partir de estolones propagadores que pueden formar estolones secundarios (Marais, 2001), aunque sus semillas pueden ser diseminadas en campo abierto y germinar. Adicionalmente, algunos estudios sugieren que el kikuyo o algunos de sus ecotipos, como es el caso del Rongai, se reproducen mediante apomixis (Ozias-Akins *et al.*, 2003; Narayan, 1955).

1.3 Origen y distribución geográfica

El kikuyo es originario de África, en donde crece de manera natural al margen de los bosques en los Montes Plateaux, a una altura entre 1950 y 2700m.s.n.m. y con rangos de precipitación anual entre 1000 y 1600mm (Mears, 1970). Su nombre común proviene del grupo étnico Kikuyu, que habita en el sureste de Kenia, en donde este forraje crece vigorosamente (Mears, 1970).

De su ambiente natural, el kikuyo fue introducido a varios países, en donde se han establecido grandes pasturas, principalmente para la producción de leche. En 1919 se introdujo a Australia por semillas provenientes del Congo y posteriormente a Nueva Zelanda. Desde 1920 fue llevado a países tropicales y subtropicales, encontrándolo actualmente en Angola, Nigeria, Camerún, Moroco, Sudáfrica, Madagascar, Mauritania, Fiji, Taiwán, Brasil, Paraguay, Costa Rica, Panamá, Colombia, Perú y en el sur de Estados Unidos, considerándose como una arvense en algunos de estos lugares (Dugmore, 2011; Mears, 1970).

El kikuyo fue introducido a Colombia en 1928 proveniente de las Antillas, realizándose los primeros estudios sobre su adaptación y respuesta productiva en las estaciones experimentales La Picota en Cundinamarca, Tulio Ospina en Antioquia y en la estación Palmira en el Valle del Cauca (Ochoa, 1941). El kikuyo se ha adaptado muy bien a las condiciones colombianas y a la fecha ocupa el 80% de las praderas dedicadas a la producción de leche en el trópico de altura (Mila y Corredor, 2004).

1.4 Influencia de los factores ambientales en el crecimiento del pasto kikuyo

1.4.1. Temperatura

De acuerdo con Marais (2001) el rango óptimo de temperatura para el crecimiento del kikuyo está entre 16 y 21°C, reportando que a temperaturas inferiores a los 10°C y superiores a los 38°C se detiene su crecimiento activo (Muscolo *et al.*, 2013). Por su parte Ivory y Whiteman (1978) encontraron que la temperatura crítica diurna promedio a la cual se detiene el crecimiento del kikuyo es de 8°C. Al evaluar la relación entre la temperatura nocturna y la disminución del crecimiento y el efecto acumulado de las noches frías sobre el crecimiento, estimaron que con temperaturas diurnas de 20°C, la temperatura nocturna crítica es de 4°C. En la provincia de Ubaté la temperatura mínima promedio es de 2.3°C y la temperatura máxima promedio es de 23°C (CAR 2006), por lo cual resulta importante tener información sobre el efecto de los cambios en temperatura que se presentan en esta zona sobre el crecimiento del pasto kikuyo y conocer la temperatura base de crecimiento bajo estas condiciones.

Murtagh *et al.* (1987) encontraron que durante los primeros 14 días después del corte, cuando la senescencia es baja, el kikuyo creció mejor a 25°C respecto a temperaturas de 15, 20 y 30°C, mostrando mayor producción de hojas y tallos y el valor más alto para el IAF (índice de área foliar). Así mismo encontraron que los intervalos de emergencia de hojas fueron más largos en las temperaturas más bajas, con promedios de 5.5, 3.9, 1.8 y 1.4 días para 15, 20, 25 y 30°C respectivamente. Estos resultados son consistentes con los encontrados por Herrero *et al.* (2000a) al evaluar las mismas temperaturas en tres periodos experimentales de 35 días cada uno.

En el modelo de crecimiento para el pasto kikuyo desarrollado por Herrero *et al.* (2000b) se encontró que en los sistemas de pastoreo, el periodo de descanso de la pradera debe ser ajustado de acuerdo a la temperatura para lograr altos niveles de producción de forraje verde. El efecto se considera mediado por dos procesos, el intervalo de aparición de hojas y la tasa fotosintética. A menor temperatura, con una menor tasa de aparición de hojas y una menor tasa fotosintética se afectan el desarrollo del dosel y la interceptación de la luz, retardando así la acumulación de la materia seca. A medida que

el intervalo de aparición de hojas se prolonga, la senescencia se desencadena más tardíamente, el recambio foliar es más lento y por consiguiente la acumulación de tejido foliar se posterga. Bajo estas condiciones se recomienda una frecuencia de pastoreo amplia, la cual se debe ir reduciendo a medida que se acelera el recambio foliar, por efecto de una mayor temperatura.

En el altiplano Cundiboyacense se presenta el fenómeno conocido como heladas, en donde la temperatura desciende por debajo de 0°C en la noche o a la madrugada. El kikuyo es susceptible a este fenómeno, presentando una respuesta de tipo facultativo, dada por el incremento de sacarosa durante y poco tiempo después de la helada e incrementos de fructosa que se mantienen en el tiempo. Aunque una cantidad considerable de forraje se pierde con este fenómeno, la planta sobrevive gracias a los estolones y meristemos que se encuentran protegidos bajo el suelo (Marquinez, 2001) y rebrota nuevamente.

1.4.2. Radiación

En el trópico entre el 56 y el 59% de la radiación solar que llega a la atmósfera logra penetrar a la tierra, a diferencia de las zonas templadas, en donde solo ingresa cerca del 46%. Adicionalmente, en el trópico la variación estacional en la radiación solar es muy pequeña y se encuentra asociada a los patrones de distribución de lluvias. Estas condiciones constituyen una ventaja para el crecimiento de los forrajes en el trópico. El promedio diario de radiación solar en el trópico es de 400 langleys por día (1 langley = 1 caloría por cm²), casi el doble del promedio en zonas templadas (Bernal y Espinosa, 2003).

Algunos estudios han mostrado que la radiación no resulta un factor limitante para la productividad de las pasturas de kikuyo. Murtagh (1988a) realizó un estudio en el cual modeló el efecto de varios factores incluida la radiación solar, sobre el crecimiento del pasto kikuyo y no encontró diferencias en la producción de materia seca con valores entre 12 y 30 MJ/m²/d. Posteriormente, Herrero *et al.* (2000a) modelaron el efecto de la radiación solar sobre el crecimiento del kikuyo, teniendo en cuenta radiación (Watts/m²) y

duración del brillo solar (h) y compararon los resultados obtenidos en dos latitudes Wollongbar, New South Wales, Australia (latitud 28° 50' S) y Poas, Costa Rica (latitud 10° 01' N). Utilizaron una curva de respuesta a la radiación ajustada a una temperatura de 20°C, para aislar el efecto de la temperatura. A partir de los resultados concluyeron que era poco probable que la radiación fuera un factor importante para explicar la variación en la fotosíntesis del kikuyo, entre estas dos latitudes.

Estos resultados podrían indicar que a pesar de que la radiación es la variable que afecta en primer lugar la tasa fotosintética, en regiones en las cuales no hay diferencias marcadas en la cantidad de horas luz día durante el año, como el caso del trópico, la radiación no constituye un factor determinante para explicar las diferencias en la productividad del kikuyo.

1.4.3. Agua

Aunque el déficit hídrico es uno de los factores más importantes que impide alcanzar el máximo potencial productivo en las pasturas de kikuyo (García *et al.*, 2014), esta especie tiene como ventaja su desarrollado sistema radicular que le permite aprovechar el agua almacenada en el suelo (Marais, 2001) y además es altamente eficiente en el uso del agua comparada con otras gramíneas forrajeras (Neal *et al.*, 2011; Fulkerson *et al.*, 2010).

García *et al.* (2008) estimaron que para producir una tonelada de materia seca de kikuyo se requieren entre 0.6 y 0.8 ML de agua, lo cual equivale a entre 600 y 800g de agua por gramo de materia seca. Fulkerson *et al.* (2010) compararon la eficiencia de uso del agua del kikuyo con la del raigrás en verano y encontraron una ventaja importante por parte del kikuyo. En verano el kikuyo produjo 410MJ EM/mm de agua, mientras el raigrás produjo 160MJ EM/mm de agua.

Neal *et al.* (2011) compararon durante tres años la eficiencia de uso del agua en 7 gramíneas (*Lolium perenne* L., *Dactylis glomerata* L., *Phalaris aquatica*, *Bromus catharticus*, *Schedonorus phoenix*, *Pennisetum clandestinum*, *Paspalum dilatatum*), 6 leguminosas (*Medicago sativa*, *trifolium repens*, *Trifolium pratense*, *Lotus corniculatus*,

Trifolium fragiferum, *Hedysarum coronarium*) y 2 herbáceas (*Chicoria intybus*, *Plantago lanseolata*), con tres tratamientos de irrigación (I. Sin déficit de agua, II. 9, 15 y 25% de déficit en cada año, III. 14, 25 y 41% de déficit en cada año). En este trabajo, la eficiencia de uso del agua fue medida como la producción total sobre la evapotranspiración. Bajo los tres tratamientos de irrigación, durante los tres años, el kikuyo fue el forraje más eficiente en el uso del agua, entre todas las especies evaluadas. Las eficiencias de uso del agua fueron de 27.3, 24.4 y 23.2 kg/ha/mm para el kikuyo y de 20.9, 18.2 y 16 kg/ha/mm para el raigrás perenne, en los tratamientos I, II y III respectivamente. Estos resultados muestran que bajo condiciones óptimas de humedad en el suelo, el kikuyo supera en eficiencia de uso del agua al raigrás en un 23,4% y que a medida que se restringe la disponibilidad de agua la diferencia es mayor, llegando al 31%, cuando hubo mayor restricción en la irrigación.

Si bien el kikuyo presenta ventajas respecto al uso del agua comparado con otras especies, es importante tener presente que el déficit hídrico reduce de manera importante su rendimiento. En el trabajo de Neal *et al.* (2011) en el tercer año, la diferencia en el rendimiento entre las parcelas sin déficit de agua y las parcelas con 41% de déficit de agua fue de 13,4t/ha, que equivalen a una reducción en la producción del 59,8%.

De acuerdo con Murtagh (1988b) la demanda evaporativa es el aspecto que más influye en el déficit hídrico en el kikuyo. En la tabla 1 se muestran los resultados de este estudio, en donde se puede observar que con una baja demanda evaporativa (2 mm/d) y un contenido relativo de agua en el suelo de 21%, se detiene el crecimiento del kikuyo y que cuando la demanda evaporativa aumenta a media - alta (5 mm/d), el crecimiento del pasto kikuyo se detiene con contenidos relativos de agua en el suelo significativamente superiores (62%). Esto coincide con lo reportado por Steduto *et al.* (2007), quien concluyó que en los forrajes la eficiencia del uso del agua es específica para una especie y que no cambia una vez se normaliza la demanda evaporativa y la concentración de dióxido de carbono, indicando que la eficiencia de transpiración es constante y que la evapotranspiración es determinada por condiciones atmosféricas y no por la tasa de crecimiento de la planta.

Tabla 1. Efecto de la demanda evaporativa y el contenido relativo de agua en el suelo sobre el crecimiento del pasto kikuyo.

Demanda evaporativa	Contenido relativo de agua	Potencial hídrico	Tasa de crecimiento
Baja (2mm/d)	< 56%	<-134KPa	Disminuye
	21%	-593 KPa	Se detiene
Media – Alta (5mm/d)	-	-10 KPa	Disminuye (39%)
	62%	-101 KPa	Se detiene

Adaptada de Murtagh G J. 1988b. Aust J Agric Res 39:43-51

1.4.4. Suelo y nutrientes

Aunque el carácter invasivo del kikuyo le ha permitido desarrollarse bajo una amplia variedad de suelos, se requieren ciertas condiciones para lograr alcanzar su máximo potencial productivo. Se considera que el kikuyo se adapta bien a suelos ácidos, disminuyendo significativamente su crecimiento cuando los valores de pH son inferiores a 4.36 (Awad *et al.*, 1976), sin embargo, en suelos con altos contenidos de aluminio es importante encalar (Cross, 1979).

El kikuyo es sensible a las deficiencias de magnesio, fósforo, potasio, azufre, hierro, cobre y manganeso y menos sensible a las de calcio, boro, molibdeno y zinc (Cassidy, 1972).

La fertilización nitrogenada es uno de los aspectos fundamentales para lograr una óptima producción de materia seca en praderas de kikuyo (García *et al.*, 2014). En general los estudios realizados han mostrado que el kikuyo responde bien a la fertilización nitrogenada (Dugmore, 2011; Palacio, 2005; Castillo *et al.*, 1983), sin embargo el nivel de respuesta ha variado entre 13 y 43 kg de materia seca por kilogramo de nitrógeno aplicado, dependiendo de las condiciones del estudio según lo reportado por Dugmore (2011).

La interacción con factores como la disponibilidad de agua, la acidez del suelo y la relación con otros nutrientes va a influir en el nivel de respuesta a la fertilización nitrogenada. En el trabajo de Awad y Edwards (1977) se encontró que en condiciones de suelos ácidos, el encalado disminuía los requerimientos del kikuyo para alcanzar la

misma producción de materia seca de 672kg N/ha/año a 135 kg N/ha/año. De acuerdo con Cross (1979) la fertilización nitrogenada controla el potencial productivo del kikuyo cuando la precipitación es mayor a 650mm y cuando se han reunido los requerimientos basales de fertilización. Para lograr una mayor eficiencia de uso de la fertilización nitrogenada, es importante mantener niveles basales de 150ppm de K, 20ppm de P y 60ppm de Mg (Fulkerson *et al.*, 2010; Cross, 1979).

Una característica ampliamente conocida del kikuyo es la tolerancia a suelos salinos, Muscolo *et al.* (2013) encontraron que el kikuyo permanece saludable y sus propiedades nutricionales no se afectan con concentraciones de NaCl superiores a 100mM y solo hasta concentraciones de 150mM, se reduce el crecimiento en un 30 %. Por esta razón el kikuyo ha sido tenido en cuenta como una especie con potencial para recuperar suelos con alta salinidad en regiones áridas y semi-áridas.

1.4.5. Factores asociados al pastoreo que influyen en el crecimiento del pasto kikuyo

En los sistemas de pastoreo existen dos factores críticos de manejo de la pastura que deben ser controlados, el primero es el momento adecuado para el pastoreo, es decir el intervalo o frecuencia de pastoreo y el segundo la cantidad de forraje residual después del pastoreo. Estas variables manejadas en conjunto van a determinar la capacidad y velocidad de rebrote de la planta, la persistencia de la pastura y la acumulación de forraje muerto y de baja calidad por efecto de la senescencia. De acuerdo con Chapman *et al.* (2011) estas son las variables críticas para maximizar la eficiencia de uso de la pastura.

1.4.6. Frecuencia de pastoreo

La defoliación representa para la planta una interrupción en su proceso natural de crecimiento, pero en el caso de las especies forrajeras el rebrote constituye la respuesta adaptativa a esta interrupción. Para los sistemas de pastoreo el reto consiste en lograr que este rebrote se de satisfactoriamente y que al momento del pastoreo se tenga la

mayor cantidad de forraje disponible posible, manteniendo una adecuada calidad nutricional.

Se entiende por frecuencia de pastoreo el tiempo que transcurre entre un pastoreo y el siguiente y se recomienda ajustar este tiempo a la dinámica de recambio foliar, la cual depende de las características fisiológicas y morfológicas de la planta y de las condiciones ambientales. Se debe buscar un sincronismo entre los procesos de producción y consumo de material vegetal por parte del animal para optimizar la dinámica de acumulación, controlando las pérdidas por senescencia y favoreciendo la productividad de la pastura (Colabelli *et al.*, 1998).

Existen diferentes criterios para definir el momento óptimo del pastoreo. El primero es a intervalos de tiempo fijos, expresado normalmente en número de días. Este criterio contribuye en la organización o programación del pastoreo y las rotaciones de los potreros, pero no puede manejarse como único criterio, ya que la frecuencia de pastoreo debe ser flexible y ajustarse de acuerdo a la época del año.

Otro criterio importante que se utiliza es la biomasa disponible al ingreso de los animales, el cual tiene en cuenta cuanto residuo se espera dejar en la pastura y cuanto consumo aparente se calcula por parte de los animales (Parga *et al.*, 2007). De esta manera se fija la cantidad de biomasa mínima que se requiere para lograr un adecuado consumo y alcanzar una alta eficiencia de utilización de la pastura. De acuerdo con Fariña *et al.* (2011) para el kikuyo es recomendable usar una biomasa para el ingreso de los animales de 2600 ± 200 kgMS/ha, teniendo en cuenta que en pasturas de kikuyo las vacas tienden a remover durante el pastoreo entre 1100 y 1300kgMS/ha. Con este criterio se dejaría en la pradera un residuo de 1500 ± 200 kgMS/ha. Con disponibilidades de biomasa mayores a 3000kg MS/ha, García *et al.* (2014) consideran que se incrementa el residuo de manera importante, disminuyendo la eficiencia de uso de la pastura. La altura sin disturbar es otro criterio que puede contribuir a decidir el momento apropiado para el ingreso de los animales, aunque tiene como desventaja que no tiene en cuenta la densidad de la pastura. Para definir la altura adecuada, previamente es necesario realizar una gran cantidad de mediciones que permitan establecer una relación entre la altura sin disturbar y la biomasa disponible y al momento de aplicarlo, también requiere tomar un número importante de mediciones, para tener una buena representatividad de la pradera y un

resultado consistente (Parga *et al.*, 2007).

El criterio más completo para definir el momento óptimo del pastoreo, ya que tiene en cuenta el estado fenológico de la planta y brinda información sobre la calidad nutricional de la pastura, integrando de esta manera los requerimientos de los animales, es el número de hojas por estolón. El método consiste en identificar el número óptimo de hojas en el cual las reservas de la planta permiten sostener el rebrote y en donde se logre la mayor producción de materia seca sin que se haya dado inicio a la senescencia, para evitar acumulación de material muerto y de baja calidad. Cada especie de gramínea tiene genéticamente definido el número de hojas vivas por macollo que es capaz de sostener, después de este momento inicia la senescencia (Fulkerson y Lowe, 2003).

Reeves y Fulkerson (1996) encontraron que en el estado entre 4 y 5 hojas por estolón, la calidad nutricional de la pastura de kikuyo se encuentra en un punto óptimo y que en este momento la planta tiene suficiente cantidad de carbohidratos de reserva para el rebrote siguiente. Según los resultados de estos investigadores, después de este número de hojas empieza a disminuir el contenido de proteína cruda y la digestibilidad de la materia orgánica.

En el modelo de crecimiento desarrollado por Herrero *et al.* (2000b) se confirmó el resultado encontrado por Reeves y Fulkerson (1996), pero adicionalmente se encontró una interacción entre el número óptimo de hojas y el nivel de fertilización. Sin fertilización el modelo desarrollado por los autores indicó que el número óptimo de hojas era cercano a 7 y con un nivel de fertilización de 100kgN/h la simulación sugiere un número óptimo de 4 a 6 hojas. Este resultado lo explican los autores por el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la tasa de elongación foliar, la cual ha resultado significativamente influenciada por la disponibilidad de nitrógeno en estudios con gramíneas forrajeras (Borrajó y Alonso 2014; Gastal *et al.*, 1992). Esta respuesta estaría relacionada con el efecto del suministro de nitrógeno sobre la producción de células, más que sobre la elongación de las mismas, aunque este mecanismo aún se encuentra en discusión (Gastal y Lemaire, 2002).

Para el caso de Colombia, los resultados encontrados por Fonseca *et al.* (2016) difieren de los encontrados por Reeves y Fulkerson (1996) en Australia. Fonseca *et al.* (2016) no

encontraron diferencias significativas entre los estados de 3, 4,5 y 6 hojas en la tasa de crecimiento, la producción de materia seca y los contenidos de proteína cruda (PC), fibra en detergente neutro (FDN) y fibra en detergente ácido (FDA) en praderas de kikuyo. Tampoco encontraron diferencias en las proporciones de hojas, tallos y material muerto entre estos estados de hojas. Esto podría indicar que para las condiciones del trópico el kikuyo puede ser pastoreado incluso hasta la sexta hoja sin que la calidad nutricional difiera de manera importante.

1.4.7. Intensidad de pastoreo

La intensidad de pastoreo se define como la proporción del forraje producido anualmente que es consumida o removida por el pastoreo (Heady y Child, 1994) y se mide mediante la altura del residuo (cm) o la cantidad de residuo (kg MS/ha) (Parga *et al.*, 2007).

La intensidad de la defoliación debe manejarse de acuerdo a las características morfológicas de la planta, considerando la ubicación de los sitios de reserva de carbohidratos. El kikuyo por ser una especie estolonífera resiste pastoreos intensos pues tiene las reservas para el rebrote a ras del suelo (Bernal y Espinosa, 2003).

El manejo de intensidades de pastoreo muy leves no es recomendable porque se disminuye la eficiencia de uso de la pastura y permite la mayor acumulación de forraje muerto (Fulkerson y Donaghy, 2001; Villarreal *et al.*, 2014). Con baja intensidad de pastoreo se puede presentar un rebrote más rápido por la capacidad fotosintética de las hojas que se mantienen. Sin embargo, esto no compensa la baja eficiencia de uso de la pradera y las pérdidas por senescencia (Fulkerson y Slack, 1995).

Una baja intensidad de pastoreo genera una menor densidad en la pastura, dado que el material muerto o senescente evita que la radiación incida sobre la base de la planta, lo cual se requiere para estimular la producción de nuevos rebrotes (Fulkerson y Donaghy, 2001).

La intensidad de pastoreo influye directamente en el consumo de los animales. Con un pastoreo intenso, el consumo individual de los animales tiende a disminuir, como

consecuencia de esto la producción individual disminuye, pero la eficiencia de utilización de la pastura aumenta. Por otra parte, si se maneja una baja intensidad de pastoreo se incrementa el consumo individual de los animales, pero la eficiencia de utilización de la pastura disminuye y se privilegia la producción individual. Teniendo en cuenta todos los aspectos mencionados, la intensidad de pastoreo adecuada es aquella que logra un balance entre las necesidades del animal y las de la planta y dependerá de la época, los objetivos del sistema productivo y la cantidad de suplementación utilizada (Parga *et al.*, 2007).

Variaciones en la temperatura ambiental y la interacción con la frecuencia de pastoreo pueden influir en la respuesta a la altura residual. Fulkerson *et al.* (1999) evaluaron en kikuyo la interacción entre la frecuencia de defoliación (2, 4 y 6 hojas por estolón) y tres alturas residuales (3, 6 y 12 cm) durante el verano, otoño - inicio del invierno y la primavera. Encontraron que la concentración de almidón y carbohidratos solubles fue afectada significativamente por la altura del residuo, alcanzando los valores más altos como era de esperarse a 12cm. En verano hubo una mayor producción de materia seca de hojas cuando se manejó la defoliación más severa (2 hojas por tallo y 3cm de altura). En contraste, en otoño-invierno se encontró mayor producción de materia seca de hojas con una intensidad similar, pero con menor frecuencia de defoliación (6 hojas por tallo y 3cm de altura; 6 hojas por tallo y 6cm; 4 hojas por tallo y 3cm de altura). En primavera la producción de materia seca de hojas fue menor con altura de corte de 12cm, sin importar el intervalo de defoliación manejado.

Molina (2018) evaluó el efecto de la altura residual sobre el rendimiento y la calidad nutricional del kikuyo, utilizando tres alturas: 5, 10 y 15cm. En este trabajo no hubo diferencias significativas en la calidad nutricional entre las alturas residuales evaluadas, pero si se observó una tendencia a una mayor producción de materia seca con la altura de 15cm. Sin embargo con la altura residual de 15cm la aparición de brotes y hojas nuevas fue menor y la cantidad de hojas muertas fue mayor. Teniendo en cuenta este aspecto y buscando hacer un uso más eficiente de la pastura, sería recomendable pastorear el kikuyo hasta una altura residual de 5 a 10cm, con una biomasa residual de 1500 ± 200 kgMS/ha, según lo recomendado por García *et al.* (2014).

1.5. Calidad nutricional del pasto kikuyo

La calidad nutricional del pasto kikuyo se caracteriza por tener niveles de proteína cruda considerados medios a altos, de acuerdo con los requerimientos de una vaca de leche y se ve limitada por los altos contenidos de fibra que reducen la digestibilidad y por el aporte moderado de energía metabolizable (García *et al.*, 2014). La calidad nutricional en el kikuyo cambia de acuerdo a la edad fisiológica y las condiciones ambientales durante su crecimiento (Marais, 2001).

Estudios realizados en diferentes regiones de Colombia coinciden en que pasto kikuyo tiene un contenido promedio de PC de 20.5% (Correa, 2011), con valores que pueden oscilar entre 12 y 28% dependiendo de la edad y el manejo (Carulla *et al.*, 2004). De este contenido de proteína aproximadamente el 31,2% es rápidamente degradada en el rumen, entre el 44.9% y 72.2% es potencialmente degradable en el rumen y entre el 7,1 y 19,5% no se degrada en el rumen (Correa *et al.*, 2008a). El contenido de nitrógeno no proteico (NNP) puede oscilar entre 0,6 y 1,3% de la materia seca (Fulkerson *et al.*, 2007) y el contenido promedio de nitrato es de 0,7% de la materia seca (García *et al.*, 2014).

En cuanto a los componentes de la pared celular, el kikuyo presenta una concentración promedio de FDN de 58,3% \pm 1,51, una concentración promedio de FDA del 27% \pm 0.84 y un contenido de lignina de 5,1% \pm 1,35 (García *et al.*, 2014). El aporte energético del kikuyo es de 2.2Mcal/kg MS \pm 0,04 de energía metabolizable (EM), el cual resulta bajo, comparado con otras especies como el raigrás, que tienen aportes mayores a 2.4Mcal/kg MS de EM (García *et al.*, 2014). Esto se explica por su bajo contenido de carbohidratos no estructurales (2.7 a 11.3%) (Marais, 2001) y por su menor digestibilidad (63.6 \pm 3.54) (García *et al.*, 2014).

Un aspecto que también afecta la calidad nutricional del kikuyo es la baja relación entre los carbohidratos no estructurales (CNE) y la proteína degradable en el rumen (PDR) para promover una adecuada síntesis de proteína microbiana (Erasmus, 2009; Correa *et al.*, 2008a). Fulkerson *et al.* (1998) consideran que la relación óptima es 2:1, mientras Rueda *et al.*, (2006) reportan como óptima una relación de 3,2 – 3,5:1. Correa *et al.* (2008a) encontraron para muestras de kikuyo de Colombia una relación de 1,3:1, con valores máximos de 1,7:1 y mínimos de 0,9:1, la cual resulta baja.

Al comparar el contenido de minerales del kikuyo con los requerimientos de una vaca de leche, es de resaltar que el kikuyo presenta bajos niveles de Ca ($0,32\% \pm 0,02$), P ($0,35\% \pm 0,02$) y Na ($0,06\% \pm 0,01$) y niveles altos de K ($3,37\% \pm 0,34$), Cl ($1,31\%$) y Fe (210mg/kg MS) (García *et al.*, 2014). En sistemas basados en pastoreo estos resultados implican la suplementación de Ca, Na y P para no limitar la producción de leche y el manejo cauteloso en la fertilización para no inducir desórdenes metabólicos como la hipocalcemia y la hipomagnesemia, teniendo en cuenta el antagonismo del K con el Ca y el Mg.

1.6. Potencial del pasto kikuyo para la producción de leche

La producción de leche de vacas pastoreando pasto kikuyo fluctúa entre 10.1 y 22kg/vaca/d, dependiendo de la frecuencia de pastoreo y el uso de suplementación (Van Der Colf, 2011). Sin suplementación, Carulla *et al.* (2004) sugieren que en Colombia el kikuyo puede sostener producciones entre 8 y 12 litros. Correa *et al.* (2008b) estimaron a partir de los niveles de energía de muestras de pasto kikuyo tomadas en el departamento de Antioquia, era posible sostener una vaca de 550kg, produciendo 11.23 l de leche con 3.5% de grasa. Sin embargo, otros autores han encontrado valores más altos, Reeves *et al.* (1996) encontraron que animales pastoreando praderas de kikuyo bien manejadas como único alimento, alcanzaron producciones entre 13 y 16 l. Fulkerson *et al.* (2010) reportan que es posible alcanzar producciones de 14l con kikuyo bien manejado y suplementación mineral para corregir los desbalances propios de esta especie, logrando consumos de 13kg MS/vaca/d.

Si bien el kikuyo es una especie que no tiene potencial para lograr por sí misma altas producciones por animal, tiene como ventaja productiva su alta capacidad para acumular materia seca y la resistencia a pastoreos intensos, en los cuales se busquen mayores rendimientos por hectárea al manejar una alta carga animal.

En Australia se reporta que con kikuyo se han logrado producciones máximas de 25 a 30 tMS/ha/año, pero el promedio de producción se encuentra entre 12 y 15 tMS/ha/año (García *et al.*, 2014). En Colombia, en zonas con adecuada oferta ambiental y fertilización nitrogenada, se reportan producciones de 30 tMS/ha/año Rodríguez (1999).

A su vez, Bernal y Espinosa (2003) reportan para Colombia producciones bajas de 4,5 tMS/ha/año, producciones medias de 7,5 tMS/ha/año y producciones altas de 14 tMS/ha/año. Esto demuestra que hay una gran diferencia entre el potencial productivo de la especie y lo que se logra en la mayoría de los sistemas productivos.

García *et al.* (2014) atribuyen la diferencia entre el potencial de producción de materia seca del kikuyo que se ha obtenido en trabajos de investigación y la utilización de materia seca que se logra en las fincas a una limitación en los insumos y al manejo no apropiado de los sistemas de pastoreo. En cuanto a los insumos, los autores consideran críticos la fertilización nitrogenada y la irrigación, debido a los altos requerimientos de nitrógeno ($>1.000\text{kgN/ha}$) y la alta demanda hídrica ($0.6 - 0.8 \text{ ML/t MS}$) del kikuyo para alcanzar su máximo potencial, lo cual limita al productor desde el punto de vista económico. Con relación al pastoreo, resaltan la importancia de lograr una sincronía entre las tasas de crecimiento y la cosecha, de manera que se minimicen las pérdidas por senescencia y se maximice el crecimiento neto. Desde este punto de vista, para lograr un incremento en la producción de materia seca en las praderas de kikuyo, sin incurrir en mayores costos de producción, se debe trabajar con los sistemas de pastoreo, buscando estrategias que permitan disminuir las pérdidas por senescencia y aumentar la eficiencia de uso de la pastura.

1.7. Conclusiones

Las características morfológicas del pasto kikuyo, como son la presencia de numerosos estolones y rizomas, la acumulación de reservas energéticas para el rebrote a nivel del suelo y el desarrollado sistema radicular, lo hacen una especie resistente a altas intensidades de pastoreo.

Al ser una gramínea C4 el kikuyo es más eficiente que otras especies forrajeras en el uso del agua. A esto se suma la ventaja de poseer un desarrollado sistema radicular que le permite aprovechar el agua presente en el suelo a mayores profundidades. Sin embargo se debe tener en cuenta al momento de planear los sistemas de pastoreo a largo plazo, que el déficit hídrico acentuado en los momentos o épocas de alta evaporación, disminuye de manera importante el crecimiento de esta especie y por tanto la

disponibilidad de materia seca

El kikuyo es una forraje que responde bien a la fertilización nitrogenada, aunque para hacer un mayor uso del nitrógeno aportado, es recomendable tener en cuenta la disponibilidad de agua, la aplicación de niveles base de P, K y Mg y el encalado cuando los suelos presentan altos niveles de aluminio.

La ventaja productiva del kikuyo es su alta capacidad para acumular materia seca, con una calidad nutricional aceptable cuando se maneja apropiadamente. Bajo esta condición es una especie apropiada para sistemas que busquen maximizar rendimientos por unidad de área, en sistemas que busquen altas producciones por animal se requiere el uso de suplementación, principalmente energética.

1.8. Referencias Bibliográficas

Awad AS, Edwards D. 1977. Reversal of adverse effects of heavy ammonium sulphate application on growth and nutrient status of a kikuyu pasture. *Plant and Soil* 48(1): 169-183.

Awad AS, Edwards GD, Milham PJ. 1976. Effect of pH and phosphate on soluble soil aluminium and on growth and composition of kikuyu grass.

Plant Soil 45(3):531-542. Bernal J. 1994. Pastos y Forrajes Tropicales. Producción y Manejo. 3ª Edición. Bogotá, Colombia: Banco Ganadero. 575p.

Bernal J, Espinosa J. 2003. Manual de nutrición y fertilización de pastos. Quito, Ecuador. International Plant Nutrition Institute. 94p.

Borrajó I, Alonso S. 2014. Tasa de elongación foliar en materiales de Agropiro Alargado: efecto de la fenología y el agregado de nitrógeno. En: 37° Congreso AAPA – 2nd Joint Meeting ASAS-AAPA – XXXIX Congreso de la Sociedad Chilena de Producción Animal. Octubre 20, 21 y 22 de 2014.

Carulla J E, Cárdenas E, Sánchez N y Riveros C 2004. Valor nutricional de los forrajes más usados en los sistemas de producción lechera especializada de la zona andina colombiana; En: Eventos y Asesorías Agropecuarias EU (ed.), Seminario Nacional de Lechería Especializada: “Bases Nutricionales y su Impacto en la Productividad”. Medellín, septiembre 1 y 2: 21 – 38.

Cassidy N G. 1972. Observations on nutrient deficiencies in kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*). *Queensland Journal of Agricultural and Animal Science*. 29:51-57.

Castillo E, Coward J, Sánchez JM, Jiménez C, López C. 1983. Efecto de la fertilización nitrogenada en la época lluviosa sobre productividad, composición química y digestibilidad in vitro del pasto kikuyo bajo pastoreo en el Cantón de Coronado. *Agron. Costarr.* 7 (1/2): 9-15.

Chapman DF, Tharmaraj J, Agnusdei M, Hill J. 2011. Regrowth dynamics and grazing decision rules: further analysis for dairy production systems based on perennial ryegrass (*Lolium perenne*) pastures. *Grass Forage Sci* 67:77-95.

Colabelli M, Agnusdei M, Mazzanti A, Labreveux M. 1998. El proceso de desarrollo y crecimiento de gramíneas forrajeras como base para el manejo de la defoliación. Boletín 148. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA. Buenos Aires, Argentina.

Correa HJ, Carulla JE, Pabón ML. 2008a. Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): I - Composición química y digestibilidad ruminal y posruminal.. Livestock Research for Rural Development 20 (4).

Correa HJ, Carulla JE, Pabón ML. 2008b. Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): II - Contenido de energía, consumo, producción y eficiencia nutricional. Livestock Research for Rural Development 20 (4).

Correa HJ. 2011. Efecto del manejo del pastoreo y la suplementación alimenticia en vacas lactantes de sistemas especializados sobre su metabolismo energético y proteico y el contenido de proteína en la leche. [Tesis de Doctorado]. [Bogotá, Colombia]. Universidad Nacional de Colombia.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR. 2006. Diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica de los ríos Ubaté y Suárez. En: Plan de ordenamiento de la cuenca de los ríos Ubaté y Suárez. Bogotá, D.C.

Cross GW. 1979. Maintaining the nutritive value of *Pennisetum clandestinum* for milk production. Proc. Grassld Soc. Sth. Afr. 14(1):61-63. DOI:10.1080/00725560.1979.9648860.

Damanakis, M., & Yannitsaros, A. (1986). The Genus *Pennisetum* (Poaceae) in Greece, 2, 401–406.

Dillon, P, Hennessy, T, Shalloo, L, Thorne, F. and Horan, B. 2008. Future outlook for the Irish dairy industry: a study of international competitiveness, influence of international trade reform and requirement for change. International Journal of Dairy Technology, 61: 16-29. doi:10.1111/j.1471-0307.2008.00374.x

Dugmore T. 2011. The Effect of Nitrogen Fertilization and Stage of Re-growth on the

Nutritive Value of Kikuyu in the Midlands of KwaZulu-Natal. Tesis de Doctorado. School of Agricultural Sciences and Agribusiness, University of KwaZulu-Natal. Pietermaritzburg, Sudáfrica.

Erasmus L. 2009. Milk production from cows grazing kikuyu – ryegrass pasture systems. Tesis de Maestría. Department of Animal & Wildlife Sciences. University of Pretoria. South Africa.

García S C, Islam M R, Clark C E F, Martin P M. 2014. Kikuyu-based pasture for dairy production: a review. Crop and Pasture Science. Journal Compilation CIRO.

García SC, Fulkerson WJ, Brookes SU. 2008. Dry matter production, nutritive value and efficiency of nutrient utilization of a complementary forage rotation compared to a grass pasture system. Grass and Forage Science 63:284–300. Doi:10.1111/j.1365-2494.2008.00636.x Fariña SR, Garcia SC, Fulkerson WJ. 2011. A complementary forage system whole-farm study: forage utilisation and milk production. Animal Production Science 51: 460–470. doi:10.1071/AN10242

Fonseca C, Balocchi O, Keim J P, Rodríguez C. 2016. Efecto de la frecuencia de defoliación en el rendimiento y composición nutricional de *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov. Agro Sur 44 (3): 67-76.

Fulkerson B, Griffiths N, Sinclair K, Beale P. 2010. Primefact 1068, Milk production from kikuyu grass based pastures. Forage for milk production. Industry & Investment NSW. Disponible en https://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0012/359949/Milk-production-from-kikuyu-grass-based-pastures.pdf

Fulkerson B. 2007. Kikuyu Grass (*Pennisetum clandestinum*). Future Dairy Tech Note. Enero 2007. NSW Australia.

Fulkerson W J, Lowe K F. 2003. Grazing management. In 'Encyclopedia of dairy science. Vol. 2'. (Eds H Roginski, JW Fuquay, PF Fox) pp. 1142–1149. Academic Press: Waltham, MA, USA.

Fulkerson WJ, Donaghy DJ. 2001. Plant-soluble carbohydrate reserves and senescence – key criteria for developing an effective grazing management system for ryegrass-based pastures: a review. Aust J Esp Agr. 41:261- 275.

Fulkerson WJ, Slack K, Havilah E. 1999. The effect of defoliation interval and height on

growth and herbage quality of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*). Trop Grasslands 33:138-145.

Fulkerson WJ, Slack K, Hennessy DW, Hough GM. 1998. Nutrients in ryegrass (*Lolium spp.*), white clover (*Trifolium repens*) and kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) pastures in relation to season and stage of regrowth in a subtropical environment. Australian Journal of Experimental Agriculture, 38:397-406.

Fulkerson WJ, Slack K. 1995. Leaf number as a criterion for determining defoliation time for *Lolium perenne*. 2. Effect of defoliation frequency and height. Grass Forage Sci 50:16–20

García S C, Islam M R, Clark C E F, Martin P M. 2014. Kikuyu-based pasture for dairy production: a review. Crop and Pasture Science. Journal Compilation CIRO.

Gastal F, Lemaire G. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. Journal of Experimental Botany. Inorganic Nitrogen Assimilation Special Issue. 53 (370): 789–799

Gastal F, Belanger , Lemaire G. 1992. A model of the leaf extension rate of tall fescue in response to nitrogen and temperature. Annals of Botany 70: 437-442.

Heady H, Child R. 1994. Rangeland ecology and management. Westview Press. USA.

Herrero M, Fawcett RH, Silveira V, Busqué J, Bernués A, Dent JB. 2000a. Modelling the growth and utilisation of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) under grazing. 1. Model definition and parameterization. Agricultural Systems 65:73-97.

Herrero M, Fawcett RH, Dent JB. 2000b. Modelling the growth and utilisation of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) under grazing. 2. Model validation and analysis of management practices. Agricultural Systems 65:99-111.

Ivory DA, Whiteman PC. 1978. Effect of temperature on growth of five subtropical grasses. II. Effect of low night temperature. Aust J Plant Physiol 5(2): 149-157.

Marquinez J. 2011. Determinación de posibles mecanismos fisiológicos de tolerancia a heladas en los pastos Kikuyo y Falsa Poa. [Tesis de Maestría]. [Bogotá, Colombia]. Universidad Nacional de Colombia.

Marais JP. 2001. Factors Affecting the nutritive value of Kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*)- A review. Trop Grasslands 35: 65-84.

Mears PT. 1970. Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) as a pasture grass- A review. Trop Grasslands 4(2): 139-152.

Mila A, Corredor G. 2004. Evaluación de la composición botánica de una pradera de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) recuperada mediante escarificación mecánica y fertilización con compost. Rev Corpoica 5 (1): 70-75.

Molina, MRE. 2018. Altura de defoliación y recuperación de la pastura Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en la provincia de Ubaté. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Muscolo A, Panuccio MR, Escel A. 2013. Ecophysiology of *Pennisetum clandestinum*: a valuable salt tolerant grass. Environ Exp Bot 92: 55-63.

Murtagh GJ. 1988a. Factors Affecting the Growth of Kikuyu. I Potential Growth and Nitrogen Supply. Aust. J. Agric. Res 38:31-42.

Murtagh GJ. 1988b. Factors Affecting the Growth of Kikuyu. II Water Supply. Aust. J. Agric. Res 39:43-51.

Murtagh GJ, Halligan EA, Greer DH. 1987. Components of Growth and Dark Respiration of Kikuyu (*Pennisetum clandestinum* Chiov.) at Various Temperatures. Ann Bot-London 59 (2): 149-157.

Narayan KN. 1955. Cytogenetic studies of apomixis in pennisetum (*Pennisetum clandestinum* Hochst) Proceedings of the Indian Academy of Sciences 41:196. doi.org/10.1007/BF03050303.

Neal JS, Fulkerson WJ and Sutton BG. 2011. Differences in water-use efficiency among perennial forages used by the dairy industry under optimum and deficit irrigation. Irrigation Science 29: 213-232.

Ochoa R, H. 1941. Anotaciones sobre pastos. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín 4 (11): 1144-1149.

Ozias-Akins P, Akiyama Y, Hanna W. 2003. Molecular characterization of the genomic region linked with apomixis in *Pennisetum/Cenchrus*. Funct Integr Genomics 3:94–

104.DOI 10.1007/s10142-003-0084-8.

Palacio CO. 2005. Efecto de la nutrición química sobre poblaciones de insectos chupadores y la producción del pasto kikuyo. [Tesis de Maestría]. [Medellín, Colombia]. Universidad Nacional de Colombia.

Parga, J.; Balocchi, O.; Teuber, N.; Abarzúa, A.; Lopetegui, J.; Anwandter, V.; Canseco, C. y Demanet, R. 2007. Criterios y recomendaciones para el manejo del pastoreo. en: Manejo del pastoreo. Proyecto FIA. Osorno, Chile.

Reeves M, Fulkerson WJ. 1996. Establishment of an optimal grazing time of kikuyu pastures for dairy cows. In: Proceedings of the 8th Australian Agronomy Conference; 1996 Enero 30 – Febrero 2, Toowoomba, Queensland. 4p.

Reeves M, Fulkerson WJ and Kellaway RC 1996. Forage quality of kikuyu (*Pennisetum clandestinum*): the effect of time of defoliation and nitrogen fertiliser application and in comparison with perennial ryegrass (*Lolium perenne*); Australian Journal of Agricultural Research. 47(8): 1349 – 1359.

Rodríguez D. 1999. Caracterización de la respuesta a la fertilización en producción y calidad forrajera en los valles de Chiquinquirá y Simijaca (Estudio de caso); Trabajo de grado. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

Rueda S, Taborda L, Correa H J. 2006. Relación entre el flujo de proteína microbiana hacia el duodeno y algunos parámetros metabólicos y productivos en vacas lactantes de un hato lechero del Oriente Antioqueño. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. Volume 19: 27–38.

Steduto P, Hsiao TC, Fereres E. 2007. On the conservative behavior of biomass water productivity. Irrig Sci 25:189–207.

USDA (2014) Introduced, invasive, and noxious plants. Plants Database. United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. <http://plants.usda.gov/java/noxious?rptType=Federal>

Van Der Colf J. 2011. The production potential of Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) pastures over-sown with Ryegrass (*Lolium* spp.) [Tesis de Maestría]. University of

Pletoria.

Villareal JA, Hernández A, Martínez PA, Guerrero J, Velasco ME. 2014. Rendimiento y calidad de forraje del pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.) al variar la frecuencia e intensidad de pastoreo. Rev Mex Cienc Pecu. 5(2):231-245.

2. Caracterización del crecimiento de las pasturas en la provincia de Ubaté de acuerdo a la altitud y las condiciones edafoclimáticas

**Amanda Acero-Camelo¹, Zoot, MSc; Jorge Fernando Triana Valenzuela, MV, MSc²;
Gerhard Fischer³, Ing. Hort., MSc, PhD; Juan E. Carulla¹, MSc, PhD;**

¹Grupo de Investigación en Nutrición Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, ²Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de la Salle, ³Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia

Resumen

Con el fin de determinar el efecto de la altitud, la temperatura, la precipitación, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), el pH del suelo y la edad (días y número de hojas por estolón) sobre el crecimiento de las pasturas, se establecieron parcelas en 9 fincas de la provincia de Ubaté ubicadas a diferente altitud. Tres en la zona alta (2820 a 3200m.s.n.m.), tres en la zona media (2600-2820 m.s.n.m.) y tres en la zona baja (2500-2600m.s.n.m.). Las parcelas fueron divididas en 6 sub-parcelas y se cortaron a los 15, 30, 45, 60 75 y 90 días. Se midió la producción de materia seca (MS), la altura sin disturbar de la pradera (ASD), el índice de área foliar (IAF) y el número de hojas por estolón. En cuanto a calidad nutricional se midieron los contenidos de PC, FDN, FDA y la DIVMS. A mayor altitud (menor temperatura) el kikuyo creció más lentamente perdió capacidad para competir con otras especies por lo cual las parcelas experimentales se volvieron polifíticas. Las parcelas de kikuyo presentaron una mayor tasa de crecimiento (60kg MS ha⁻¹) que las parcelas polifíticas (30 kg MS ha⁻¹). Al aumentar la precipitación aumentó la producción de MS, la ASD y el IAF tanto en las praderas de kikuyo como en las polifíticas. Las características del suelo (CIC y pH) no modificaron el crecimiento del kikuyo, sin embargo, la ASD, el IAF y la producción de MS en las praderas polifíticas varió entre fincas. El kikuyo cosechado tuvo mayores contenidos de PC y mayor DIVMS

que el forraje de las praderas polifíticas, presentando a los 45 días (estado de 5 hojas) contenidos de PC superiores al 20%, de FDN menores al 55%, de FDA inferiores al 26% y una DIVMS del 75%. Después de los 45 días la calidad nutricional disminuyó en los dos tipos de praderas.

Palabras clave: kikuyu, *Cenchrus clandestinus*, crecimiento de pasturas

Abstract

In order to determine the effect of altitude, temperature, precipitation, Cation Exchange Capacity (CEC), soil pH and pasture age (days and number of leaves per stolon) on the growth of kikuyo grass, plots were established in 9 farms located at different altitudes of the province of Ubaté. Three at the higher altitude (2820 to 3200m.s.m.), three at the middle altitude (2600-2820 m.s.) and three at the lower altitude (2500-2600m.s.m.). The plots were divided into 6 sub-plots and defoliated at 15, 30, 45, 60, 75 and 90 days. Dry matter yield (DMY), undisturbed height of the pasture (UH), leaf area index (LAI) and leaf stage were recorded. Contents of CP, NDF, ADF and IVDMD were determined in the forage harvested. At higher altitudes (lower temperatures) the kikuyo grows slower and had less capacity to compete with other species therefore the experimental plots become polyphytic. The kikuyo plots had a higher growth rate (60 kg DM ha⁻¹) compared to the polyphytic ones (30 kg DM ha⁻¹). Increasing rainfall increased DMY, UH and LAI. The characteristics of the soil CEC and pH did not modify the growth of the kikuyo, however, the ASD, the IAF and the production of DM in the polyphytic grasslands varied among farms. Kikuyo harvested had higher CP contents and DIVMS than forage from polyphytic grasslands. Kikuyo had at 45 days (5 leaf stage) CP contents higher than 20%, NDF less than 55%, ADF less than 26 % and a DIVMS of 75%. After 45 days the nutritional quality decreased in both types of grasslands.

Keywords: kikuyu, *Cenchrus clandestinus*, growth of pastures

2.1 Introducción

La provincia de Ubaté se encuentra ubicada al norte del departamento de Cundinamarca y está conformada por 10 municipios (Carmen de Carupa, Cucunubá, Fúquene, Guachetá, Lenguaque, Simijaca, Susa, Sutatausa, Tausa y Villa de San Diego de Ubaté). Es una importante cuenca lechera en Colombia, con una producción de 831.318 litros diarios que representan el 19,06% de la producción total del departamento de Cundinamarca (Gobernación de Cundinamarca, 2018). Adicionalmente es la provincia con mayor número de vacas en ordeño a nivel departamental con 59.906 animales (14,9%) (Gobernación de Cundinamarca, 2018).

En la provincia de Ubaté los sistemas de producción de leche están basados en pastoreo. Se estima que en la provincia hay 76.612 hectáreas en pastos de las cuales el 50% se consideran praderas naturales porque no reciben ningún manejo; el 42% corresponde a praderas mejoradas, es decir que se fertilizan, reciben algún tipo de mecanización o siembra de especies mejoradas; el 5,3% corresponde a pastos de corte y el porcentaje restante está representado por cultivos forrajeros (1,2%) y sistemas silvopastoriles (1,5%) (Gobernación de Cundinamarca, 2018). El kikuyo es la especie predominante en el departamento de Cundinamarca con 314.991 hectáreas (Gobernación de Cundinamarca, 2018) y a nivel nacional ocupa el 80% de las praderas dedicadas a la producción de leche en el trópico de altura (Mila y Corredor, 2004).

El kikuyo fue introducido a Colombia en 1928 proveniente de las Antillas (Ochoa, 1941), adaptándose muy bien y encontrándose actualmente desde los 1500 hasta los 4000 m.s.n.m. (Giraldo- Cañas, 2013). Originariamente esta especie proviene de África, en donde crece de manera vigorosa desde los 1950 hasta los 2700 m.s.n.m. (Mears, 1970). En el caso de la provincia de Ubaté, el kikuyo se encuentra en las praderas desde los 2500.m.s.n.m y a alturas superiores a los 2.900 m.s.n.m, en municipios como Carmen de Carupa, Fúquene y Tausa. A pesar de la importancia de esta especie y su amplio rango de distribución en Colombia, las diferencias en el crecimiento del kikuyo de acuerdo a la altitud no han sido evaluadas a pesar de que se sabe que la temperatura ambiente varía con la altura e influye sobre la tasa de crecimiento de las pasturas (Jones, 1982).

La precipitación constituye otro factor importante que determina el crecimiento de las pasturas y por ende la producción de leche. En Ubaté el régimen de lluvias es bimodal

(dos periodos de lluvia y dos secos en un año). Los periodos de lluvia y sequía no son uniformes dentro de la provincia, encontrando zonas más secas, cuyos periodos de lluvias son más cortos o menos intensos (Carulla *et al.*, 2018). Conocer el impacto de la precipitación sobre el crecimiento y productividad de las pasturas resulta fundamental para la planeación de los sistemas de pastoreo y los sistemas de alimentación de la fincas a mediano y largo plazo.

Un plan de manejo de pasturas, debe estar enfocado en producir alta cantidad de forraje de buena calidad, con una alta eficiencia de uso de la pastura, sin afectar el rebrote y sin comprometer de manera importante el consumo de los animales (Anwandter *et al.*, 2007; Parga *et al.*, 2007). Para lograr este objetivo se debe conocer la especie o especies forrajeras presentes en la pastura, sus hábitos de crecimiento, la acumulación de materia seca durante las diferentes épocas del año y los cambios en la calidad nutricional por efectos del manejo y la senescencia. Con esta información es posible tomar decisiones acertadas sobre la carga animal, el momento óptimo de cosecha y la intensidad de pastoreo (Anwandter *et al.*, 2007; Parga *et al.*, 2007), de tal manera que se logren satisfacer los requerimientos de los animales, mantener el buen estado de las praderas y maximizar los rendimientos por hectárea, impactando positivamente la rentabilidad de los sistemas de producción.

Teniendo en cuenta los aspectos mencionados anteriormente y la falta de información específica para la Provincia de Ubaté que permitiera generar recomendaciones de manejo de las pasturas de acuerdo a la zona y época, se planteó como objetivo del presente trabajo caracterizar el crecimiento del pasto kikuyo en la provincia de Ubaté, considerando la altitud, factores ambientales como la temperatura y la precipitación y algunas características del suelo. El crecimiento fue medido en términos de producción de materia seca (kg MS ha^{-1}), pero también se tuvo en cuenta el índice de área foliar, como índice fisiológico y la altura de la pradera como indicador de manejo de la pastura. La edad de la pastura se consideró como días calendario y como número de hojas por estolón, siendo esta última una medida de la edad fisiológica (Chapman *et al.*, 2011).

2.2 Materiales y métodos

2.2.1 Selección de las fincas y establecimiento de las parcelas

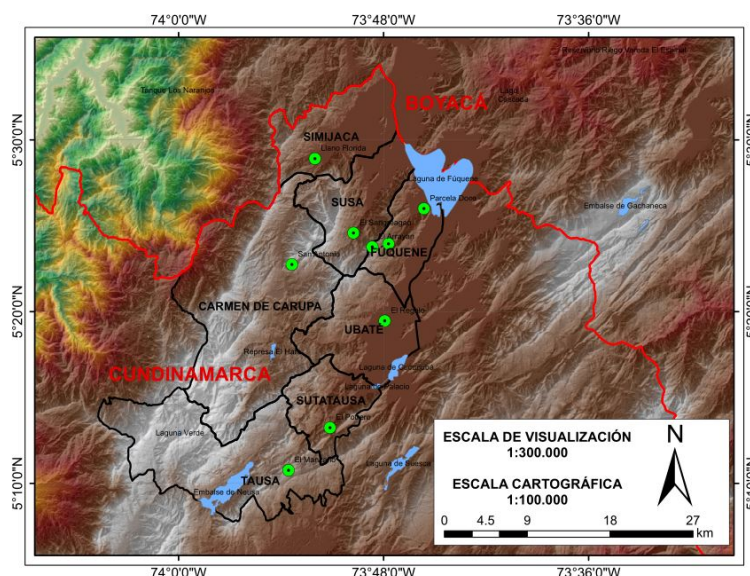


Imagen 3. Ubicación de las fincas seleccionadas dentro de la provincia de Ubaté

Se seleccionaron 9 fincas distribuidas dentro de la provincia de Ubaté (imagen 3), ubicadas a diferente altitud con praderas de kikuyo establecidas. Tres fincas estuvieron ubicadas entre los 2820 a 3200m.s.n.m., denominada zona alta (ZA), tres entre los 2600-2820 m.s.n.m., denominada zona media (ZM) y tres entre los 2500-2600m.s.n.m., denominada zona baja (ZB) (Tabla 2). En cada finca se estableció una parcela de 100m² aproximadamente, la cual se dividió en 6 sub-parcelas con un área de 4m² cada una y una distancia de 80 cm entre parcela. Se hicieron cortes quincenales escalonados de tal forma que se tuvieran sub-parcelas con pasturas a edades de 15, 30, 45, 60, 75 y 90 días. Las edades fueron asignadas de manera aleatoria a las sub-parcelas. Se realizaron tres ciclos de mediciones (26 de mayo de 2016 a 9 de septiembre de 2016; 28 de septiembre de 2016 a 3 de febrero de 2017 y 3 de febrero de 2017 a 26 de mayo de 2017) durante un período total de un año.

Al inicio de cada ciclo de mediciones se realizó un corte de uniformidad en la parcela a una altura de 5cm con un cortacésped (Husqvarna LC153V). Se realizaron enmiendas con cal dolomita de acuerdo al resultado del análisis de suelos de cada finca y se aplicó una fertilización base con nitrógeno (100kg/ha/año), fósforo (69kg/ha/año), potasio (46kg/ha/año) y cloruro de magnesio (25kg/ha/año) de acuerdo a las recomendaciones

para el kikuyo de Bernal y Espinosa (2003).

Tabla 2. Fincas en las cuales se establecieron las parcelas experimentales

Rango de altura	Finca	Municipio	Altitud (m.s.n.m)
ZB (2500-2600)	El Regalo	Ubaté	2.560
	Parcela Doce	Fúquene	2.559
	Llano Florida	Simijaca	2.562
ZM (2600-2820)	El Potrero	Sutatausa	2.640
	El Sangreagao	Susa	2.806
	Santa Paula	Fúquene	2.817
ZA (2820-3200)	San Antonio	Carmen de Carupa	2.970
	El Arrayan	Fúquene	3.102
	El Manzano	Tausa	3.143

Se realizó análisis de suelos para todas las fincas y se registró la precipitación por medio de pluviómetros manuales. La temperatura fue registrada por medio de datalogger ubicados dentro de cada parcela. Parte de la información de precipitación y temperatura que no se pudo obtener en campo fue complementada con datos obtenidos de la plataforma de la empresa aWhere Inc.

2.2.2 Toma y procesamiento de muestras

En cada sub-parcela en la edad correspondiente, se midió la altura sin disturbar (ASD) en cinco puntos y se determinó el estado de hojas (número de hojas por estolón) tomando aleatoriamente diez estolones por sub-parcela. Se realizó un aforo cortando a ras de suelo el forraje dentro de un cuadrante de $0,1\text{m}^2$ para cuantificar la producción de materia seca. Las muestras fueron secadas en horno de ventilación forzada a 60°C por 48 horas (AOAC, 2006). Se tomaron muestras de un kilo aproximadamente de forraje, cortado a una altura de 5cm con el cortacésped para el análisis de calidad nutricional. El 30% de las muestras fueron analizadas por química húmeda para proteína cruda (PC) (AOAC, 2006), cenizas (AOAC, 2006), fibra en detergente neutro (FDN) (Van Soest *et al.*, 1991), fibra en detergente ácido (FDA) (Van Soest *et al.*, 1991) y digestibilidad *in vitro* de la MS (DIVMS), por la técnica de Tilley y Terry (1963) y el 70% restante se estimó por NIRS (Near infrared spectroscopy), de acuerdo a las ecuaciones generadas para pasturas de

kikuyo por Ariza-Nieto *et al.*, (2018).

Para determinar la composición botánica se tomaron dos muestras por parcela dentro de un cuadrante de 0,625 m² las cuales fueron separadas en kikuyo y otras especies y secadas (AOAC, 2006). Con el fin de establecer las proporciones de hojas, tallos y material muerto, se tomó una muestra por parcela dentro de un cuadrante de 0,625 m², la cual se separó en las diferentes fracciones. Las hojas fueron refrigeradas inicialmente para la determinación del área foliar y posteriormente todas las fracciones fueron secadas (AOAC, 2006). El área foliar se midió utilizando el acumulador de área foliar LICOR 3100C.

2.2.3 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de regresión lineal múltiple (Kutner *et al.*, 2005), para determinar el efecto de la altitud, las variables climáticas (temperatura y precipitación), las características del suelo (pH y CIC) y la edad y el número de hojas por estolón sobre las variables asociadas al crecimiento del kikuyo: producción de MS, IAF y ASD.

Para cada variable se determinó el mejor modelo por el método Stepwise. A este modelo final se le realizó la verificación del cumplimiento de los supuestos de normalidad, independencia de los errores y homogeneidad de varianzas, siendo necesario realizar transformaciones de Box Cox para IAF y ASD.

El modelo utilizado fue el siguiente (Kutner *et al.*, 2005):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p$$

Donde:

Y= Variable dependiente (Producción de MS, IAF, ASD)

β_0 = Intercepto de la variable dependiente (Producción de MS, IAF, ASD)

$\beta_1 \dots \beta_p$ = pendientes de las variables independientes seleccionadas

$X_1 \dots X_p$ = variables independientes seleccionadas

Con la información correspondiente a la calidad nutricional (PC, FDN, FDA, DIVMS) se hizo un análisis de estadística descriptiva para las praderas de solo kikuyo y para las praderas polifíticas.

Para el análisis de la información se utilizaron los programas estadísticos InfoStat versión 2016I (FCA-UNC) y R (R Core Team, 2013).

2.3 Resultados

En el primer ciclo de mediciones se presentaron anomalías en dos fincas impidiendo obtener información de las parcelas establecidas en las mismas. En la finca San Antonio en Carmen de Carupa se presentó una alta afectación por chiza (*Ancognatha* sp, *Heterogomphus dilaticollis*, *Clavipalpus pos ursinus*) en la parcela, por lo que fue necesario suspender las mediciones e implementar un plan de manejo en la parcela y el lote aledaño, logrando tener condiciones óptimas para el segundo ciclo. En la finca Llano Florida de Simijaca se presentó una helada que afectó de manera importante la producción en varias sub-parcelas.

2.3.1 Condiciones edafo-climáticas

Hubo diferencias en la temperatura promedio entre las fincas, las cuales estuvieron relacionadas con la altitud, las fincas ubicadas en la ZA y la finca Santa Paula (ubicada a mayor altitud en la ZM) presentaron menores valores en su temperatura promedio con respecto a las demás fincas (Tabla 3). La precipitación varió entre ciclos de mediciones y entre fincas. El primer ciclo correspondió a una época seca, con precipitaciones promedio de $1,0 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, mientras que en el segundo ciclo se presentó la época de transición e inicio de las lluvias, con un promedio de $2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$. Durante el tercer ciclo se mantuvieron las lluvias alcanzando un promedio de precipitación de $2,8 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ (Tabla 3). Entre las fincas también se encontraron diferencias en la intensidad de la precipitación, siendo Llano Florida, San Antonio y El Regalo las de menor precipitación acumulada y Parcela Doce y el Sangregao las de mayor precipitación acumulada (Tabla 3).

El análisis de suelos mostró que en la zona de estudio predominan suelos ácidos con diferencias entre las fincas (Tabla 4). Las fincas El Manzano y Parcela Doce presentaron pH muy fuertemente ácido, las fincas El Regalo, Llano Florida, El Sangregao, Santa Paula, San Antonio y El Arrayán presentaron pH fuertemente ácido y la finca El Potrero pH ligeramente ácido (SSDS, 1993).

Tabla 3. Temperatura y precipitación en las diferentes fincas con parcelas experimentales

	Finca	Temperatura promedio	Precipitación Ciclo 1		Precipitación Ciclo 2		Precipitación Ciclo 3		Precipitación acumulada
		(°C)	mm d ⁻¹	Total	mm d ⁻¹	Total	mm d ⁻¹	Total	mm
ZB	El Regalo	13,5	0,8	73	1,6	153	2,8	233	459
	Parcela Doce	13,9	1,3	122	2,6	255	2,8	237	614
	Llano Florida	13,2	-	86	1,8	179	1,3	109	373
ZM	El Potrero	13,2	0,9	87	1,9	181	3,3	277	545
	El Sangreagao	13,7	0,9	92	2,0	192	4,0	333	617
	Santa Paula	10,8	1,0	97	2,1	202	2,9	239	538
	San Antonio	11,2	-	86	1,8	180	2,6	222	488
ZA	El Arrayan	10,9	1,2	115	2,4	239	2,9	243	597
	El Manzano	10,3	1,1	104	2,2	218	3,0	252	574
Promedio		12,3	1,0	96	2,0	200	2,8	238	534

Tabla 4. Análisis de los suelos de las fincas con parcelas experimentales

Finca	Clase textural	pH	A.I. (cmol(+)/ kg)	SAI (%)	CIC (cmol(+)/ kg)	SB (%)	P (mg/kg)
El Regalo	Ar	5,4	0,59	4,14	25,1	54,5	26
Parcela Doce	FAr	4,9	0,86	5,12	32,5	49	26
Llano Florida	FAr	5,3	0,28	1,7	26,9	60,04	13,5
El Potrero	FArA	6,2	.	.	20,2	55,9	5,15
El Sangreagao	FArA	5,0	3,44	45,9	22,5	18,3	13,1
Santa Paula	FAr	5,1	2,69	30,7	26,3	23,15	55,6
San Antonio	FAr	5,3	1,27	13,2	23,1	36,21	51,4
El Arrayan	FA	5,4	2,3	23,8	37,6	19,63	39,3
El Manzano	FA	4,6	5,04	54,5	51,8	8,12	70,4

FAr= Franco arcillosa, FA= Franco arenosa, Ar=Arcillosa, FArA= Franco arcillosa arenosa

A.I.= acidez intercambiable

SAI = Saturación acidez intercambiable

CIC= capacidad de intercambio catiónico

SB= Porcentaje saturación de bases

P= fósforo

2.3.2 Composición botánica

La composición botánica varió con la precipitación, la altura sobre el nivel del mar y los días de descanso. En el primer ciclo de mediciones que correspondió a la época de menor precipitación, el kikuyo fue la especie predominante (>50%) a los 90 días en todas las fincas (Figura 1). En el segundo y tercer ciclo de mediciones, cuando aumentó la precipitación, la proporción de kikuyo a los 90 días disminuyó, siendo mayor el efecto en las fincas ubicadas en la ZA (El Arrayán, San Antonio y El Manzano) en las cuales el kikuyo representó menos del 50% de la pradera (Figura 1). En las fincas de la ZM se redujo la participación del kikuyo por efecto de la precipitación, pero se mantuvo superior al 50%. En la ZB solo la finca Llano Florida presentó participación de especies diferentes al kikuyo, las fincas Parcela Doce y El Regalo tuvieron en las praderas únicamente kikuyo, independientemente del ciclo. Respecto a los días de descanso, la participación del kikuyo en las praderas disminuyó de manera significativa a partir de los 45 días (Figura 2). Las especies diferentes al kikuyo que se encontraron en las parcelas fueron

trébol rojo (*Trifolium pratense*), falsa poa (*Holcus lanatus*), pasto oloroso (*Anthoxanthum odoratum*) y azul orchoro (*Dactylis glomerata*).

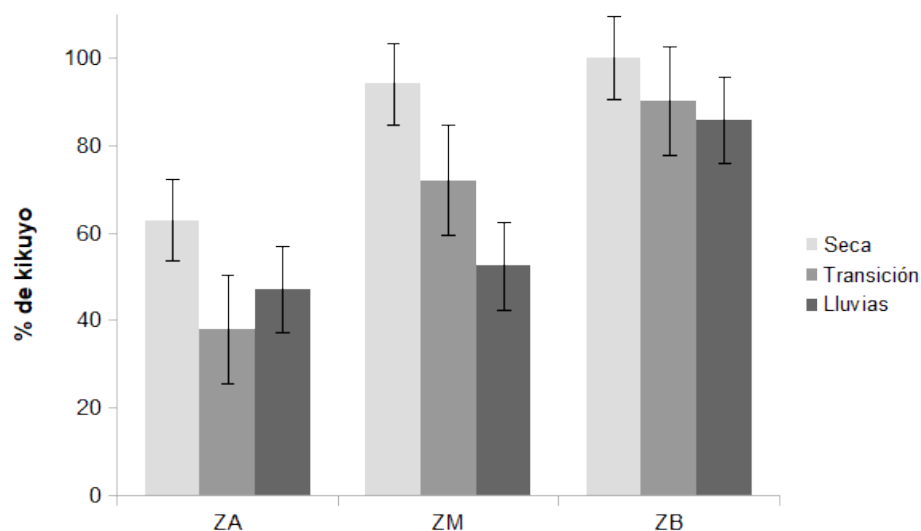


Figura 1. Participación del kikuyo en la composición botánica de las praderas en la zona alta (ZA), zona media (ZM) y zona baja (ZB) a los 90 días en las diferentes épocas

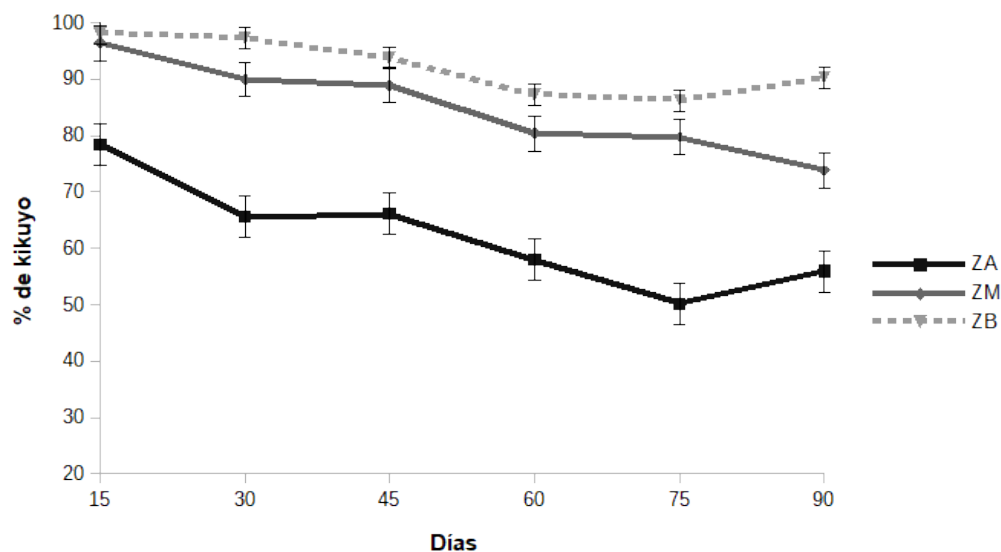


Figura 2. Participación del kikuyo en la composición botánica de las praderas en la zona alta (ZA), zona media (ZM) y zona baja (ZB) a diferentes edades

2.3.3 Producción de materia seca

Dadas las diferencias en composición botánica que se presentaron entre las fincas y teniendo en cuenta que la producción de MS (kg ha^{-1}) se estimó incluyendo el total de las especies presentes en cada subparcela, se analizó de manera independiente esta variable para las fincas con kikuyo como única especie y para las fincas con praderas polifíticas.

Para el análisis de la producción de MS no se incluyeron los datos correspondientes al día 15 dado que al haber realizado el corte a ras de suelo, la muestra contenía una proporción importante de material senescente anterior al corte que generaba sesgo en la información al sobre estimar la producción de materia seca.

- **Praderas de kikuyo**

La producción máxima de MS alcanzada a los 90 días en las praderas de kikuyo fue de 11000 kg ha^{-1} en la época seca, 17863 kg ha^{-1} en la época de transición y 13190 kg ha^{-1} en la época de lluvias (Figura 3).

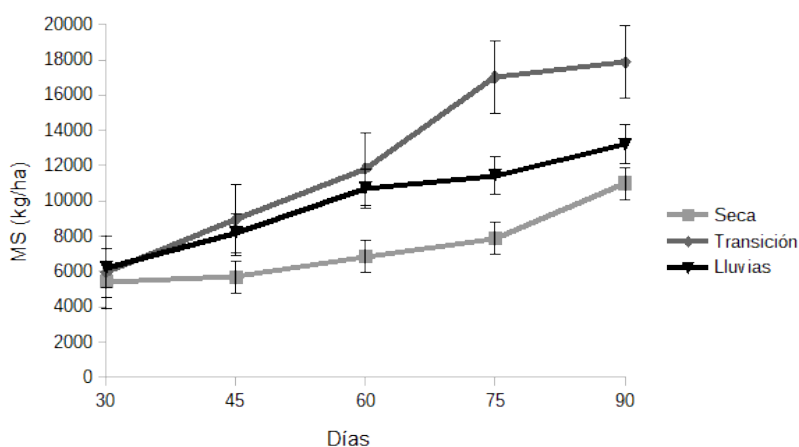


Figura 3. Producción de materia seca en praderas de kikuyo en los diferentes ciclos de mediciones

Las variables independientes incluidas en el análisis para la producción de MS en las praderas que estaban constituidas exclusivamente por kikuyo fueron: temperatura, precipitación, pH del suelo, CIC, edad, número de hojas por estolón y finca. De estas variables las que presentaron mayor influencia sobre el crecimiento del kikuyo de acuerdo con el procedimiento Stepwise fueron el número de hojas por estolón, la edad, la

precipitación y la temperatura promedio (Tabla 5). El modelo obtenido presenta un adecuado ajuste como lo indica el coeficiente de determinación ($r^2=0,76$) y el coeficiente de determinación ajustado (r^2 ajustado= 0,73). Con este modelo se explica en un 73% la producción de MS en este tipo de praderas. Adicionalmente no existe colinealidad entre las variables como lo indica el VIF. Las variables que más contribuyen en el ajuste del modelo son la temperatura promedio y el número de hojas por estolón según el índice Cp de Mallows (Tabla 5).

De acuerdo con el modelo obtenido la tasa de crecimiento de las pasturas de kikuyo manteniendo las demás variables constantes es de 60,2 kg MS ha⁻¹ d⁻¹. Por cada milímetro adicional en la precipitación promedio (mm/d) durante un ciclo, la producción de materia seca aumentará en 1154,5 kg MS ha⁻¹. Así mismo, por cada grado celsius en la temperatura promedio la producción aumenta 6563,3 kg MS ha⁻¹ y en cada estado de hojas entre 2 y 7 la pradera acumula 1751,1 kg MS ha⁻¹ (Tabla 5).

Tabla 5. Coeficientes de regresión y estadísticos del modelo para producción de MS en praderas de kikuyo

Coeficiente	Estadístico	EE	Valor P	Cp Mallows	VIF
Intercepto	-96651,3	20607,4	<0,0001		
Edad	60,2	30,3	0,0549	7,86	2,85
Precipitación	1154,5	593,9	0,0600	7,70	1,31
T° promedio	6563,3	1594,9	0,0002	20,49	1,35
Número de hojas	1751,1	684,7	0,0150	10,39	3,28

- **Praderas de polifíticas**

En las praderas polifíticas la producción de materia seca fue menor que en las praderas de solo kikuyo independientemente de la precipitación (Figura 2 y 3). La producción máxima de materia seca alcanzada a los 90 días durante la época seca fue de 3885 kg MS ha⁻¹, en la época de transición fue de 4400 kg MS ha⁻¹ y en la época de lluvias de

5600 kg MS ha⁻¹.

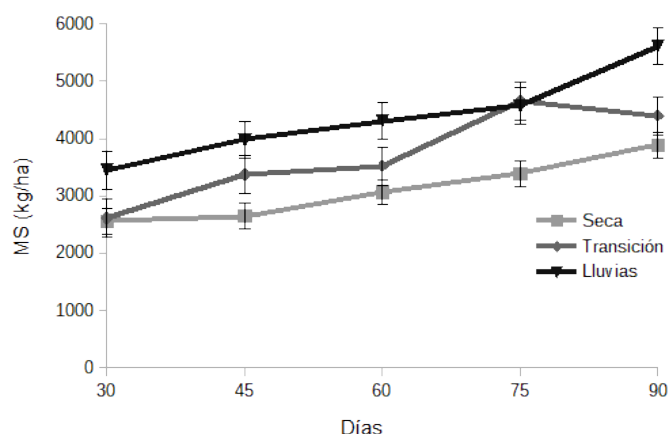


Figura 4. Producción de materia seca en praderas polifíticas en las diferentes épocas

Para las praderas polifíticas las variables independientes incluidas en el análisis para la producción de MS fueron altitud, temperatura, precipitación, pH del suelo, CIC, edad y finca. Las variables seleccionadas por el procedimiento Stepwise fueron la edad, la precipitación y la finca, siendo la edad y la precipitación las que mas contribuyen en el ajuste del modelo de acuerdo con el índice Cp de Mallows (Tabla 6). El modelo final no presentó un buen ajuste considerando el coeficiente de determinación ($r^2=0,47$) y el coeficiente de determinación ajustado (r^2 ajustado=0,42). Este modelo solo explica la producción de MS en un 42% . El índice VIF indica que no existe colinealidad entre las variables (Tabla 6).

De acuerdo con el modelo obtenido, la tasa de crecimiento en las pasturas polifíticas fue de 30 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, manteniendo las demás variables constantes. Por cada milímetro adicional en el promedio de un ciclo (mm/d) la producción de materia seca aumenta 558,2 kg MS ha⁻¹. Las fincas que fueron significativamente diferentes ($p \leq 0,05$) fueron Llano Florida, El Potreo y El Manzano. La Finca Llano Florida presenta una mayor producción de MS respecto a las demás y las fincas El Potreo y El Manzano presentan producciones de MS más bajas (Tabla 6).

Tabla 6. Coeficientes de regresión y estadísticos del modelo para producción de MS en praderas polifíticas

Coeficiente	Estadístico	EE	Valor <i>P</i>	<i>Cp Mallows</i>	VIF
Intercepto	979,9	601,5	0,1069		
Edad	30,0	5,7	<0,0001	35,22	1,06
Precipitación	558,2	145,1	0.0002	22,87	1,00
Finca_El Arrayán	-171,9	483,3	0,7230	8,15	2,11
Finca_Santa Paula	261,7	484,6	0,5906	8,24	2,11
Finca_Llano Florida	1434,3	537,9	0,0091	15,03	1,85
Finca_El Sangreagao	250,5	483,3	0,6055	8,27	2,11
Finca_El Potrero	-959,8	484,2	0,0506	12,09	2,11
Finca_El Manzano	-1151,3	483,6	0,0506	13,75	2,11

2.3.4 Altura de la pradera

La altura del kikuyo fue mayor en las praderas en donde fue la única especie presente que en las praderas polifíticas (Figura 5), independientemente de la época y la edad. El análisis de regresión para determinar las variables que más influyeron en la altura del kikuyo se hizo de manera independiente para estos dos tipos de praderas por considerarlas diferentes como se mencionó anteriormente.

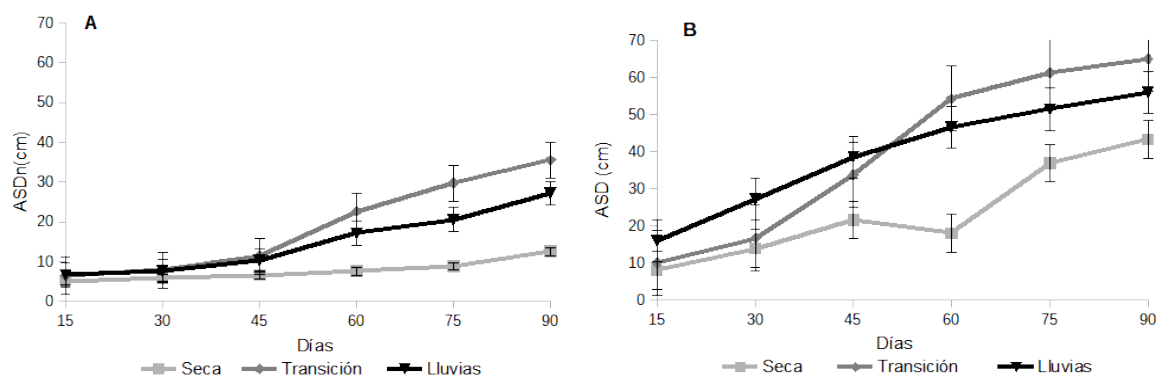


Figura 5. Comportamiento de la altura sin disturbar del kikuyo en los diferentes ciclos de mediciones. A praderas polifíticas, B praderas de kikuyo.

- **Praderas de kikuyo**

Se tomaron como variables independientes la temperatura promedio, la altitud, la CIC, el pH del suelo, la precipitación, la edad, el número de hojas y la finca. De acuerdo con el procedimiento Stepwise las variables que tuvieron mayor influencia sobre la altura del kikuyo en este tipo de praderas fueron la precipitación y la edad. Para esta variable fue necesario transformar los datos por el método de BoxCox ($\lambda=0,4$), por lo tanto los valores de los coeficientes corresponden a datos transformados.

El modelo presentó una buena capacidad de predicción de acuerdo con el coeficiente de determinación ($r^2=0,63$) y el coeficiente de determinación ajustado (r^2 ajustado=0,60), indicando que el modelo explica la altura del kikuyo cuando es la única especie presente en un 60%. La precipitación y la edad contribuyen de igual manera en el ajuste del modelo de acuerdo con el índice Cp de Mallows y no se presentó colinealidad entre estas variables dada los bajos valores del VIF obtenidos (Tabla 7).

Tabla 7. Coeficientes de regresión y estadísticos del modelo para ASD

Coeficiente	Estadístico	EE	Valor P	Cp Mallows	VIF
Intercepto	1,30	1,1	0,2487		
Precipitación	1,67	0,35	0,0001	23,78	1,00
Edad	0,06	0,01	0,0001	23,95	1,00

- **Relación entre la ASD y la producción de MS en praderas de kikuyo**

Se encontró una relación lineal significativa entre la ASD y la producción de MS en las praderas con presencia únicamente de kikuyo. Para la época seca la relación indica que por cada centímetro que crece la pradera se acumulan 159 kg de MS ha⁻¹, mientras en presencia de lluvias por cada centímetro se acumulan 145 kg de MS ha⁻¹(Figura 6).

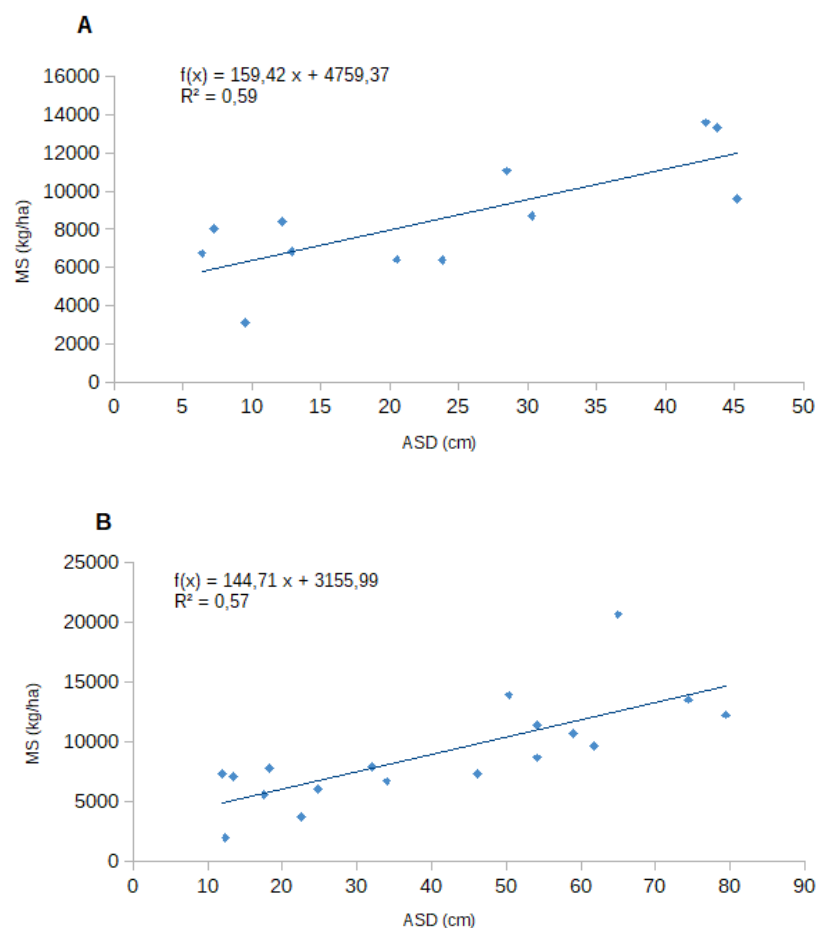


Figura 6. Relación entre la ASD y la producción de MS en praderas de kikuyo. A: Época de baja precipitación, B: Época de lluvias.

- **Praderas de polifíticas**

Se tomaron como variables independientes del modelo de regresión la temperatura promedio, la altitud, la CIC, el pH del suelo, la precipitación, la edad, el número de hojas y la finca, encontrándose con el método de Stepwise que las más importantes para explicar la altura del kikuyo en praderas polifíticas fueron la edad, la precipitación y la finca (Tabla 8). Fue necesario transformar los datos por el método de BoxCox ($\lambda = -0,42$), por lo tanto los valores de los coeficientes corresponden a datos transformados.

Aunque el modelo presenta una buena capacidad de predicción reflejada en el coeficiente de determinación ($r^2 = 0,74$) y el coeficiente de determinación ajustado (r^2 ajustado = 0,71), un peso importante lo tiene la variable finca. Cinco fincas presentaron un

efecto significativo en el modelo indicando que requieren un modelo específico cada una, únicamente la finca Llano Florida no resultó significativa, siendo la que se encuentra ubicada a menor altitud (Tabla 8).

Tabla 8. Coeficientes de regresión y estadísticos del modelo para ASD del kikuyo en praderas polifíticas

Coeficiente	Estadístico	EE	Valor <i>P</i>	<i>Cp Mallows</i>	VIF
Intercepto	1,17	0,06	<0,0001		
Precipitación	0,08	0,02	<0,0001	35,59	1,04
Edad	0,01	0,0006	<0,0001	133,7	1,01
Finca_El Arrayán	-0,17	0,05	0,0013	19,02	2,10
Finca_Santa Paula	-0,20	0,05	0,0002	22,95	2,10
Finca_Llano Florida	0,02	0,06	0,7700	8,10	1,70
Finca_El Sangreagao	-0,28	0,05	<0,0001	39,06	2,10
Finca_El Potrero	-0,28	0,05	<0,0001	38,96	2,10
Finca_El Manzano	-0,36	0,05	<0,0001	59,8	2,10

2.3.5 Índice de área foliar

Al igual que la altura de la pradera, el IAF fue mayor en las praderas de kikuyo que en las praderas polifíticas, en las diferentes épocas y en todas las edades (Figura 7).

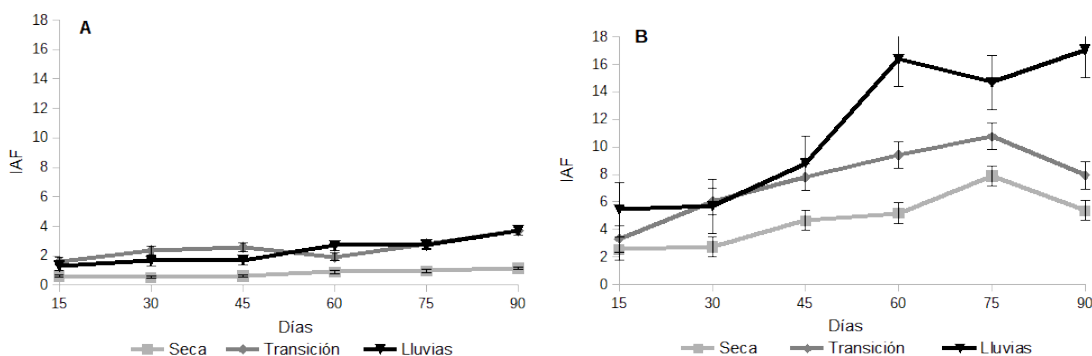


Figura 7. Comportamiento del índice de área foliar del kikuyo en los diferentes ciclos de mediciones. A praderas polifíticas, B praderas de kikuyo.

• **Praderas de kikuyo**

Se tomaron como variables independientes en el análisis de regresión la temperatura promedio, la altitud, la CIC, el pH del suelo, la precipitación, la edad, el número de hojas y la finca, de las cuales mediante el procedimiento stepwise resultaron significativas la temperatura, la precipitación y la edad. Para dar cumplimiento a los supuestos fue necesario transformar los datos por el método de BoxCox ($\lambda=0,06$), por lo tanto los valores de los coeficientes corresponden a datos transformados.

El modelo obtenido presentó una buena capacidad de predicción de acuerdo con el coeficiente de determinación ($r^2=0,73$) y el coeficiente de determinación ajustado (r^2 ajustado=0,70). La precipitación y la edad fueron las variables que más contribuyeron al ajuste del modelo de acuerdo con el índice Cp de Mallows. Los valores del VIF muestran que no hubo colinealidad entre las variables incluidas en el modelo (Tabla 9).

Tabla 9. Coeficientes de regresión y estadísticos del modelo para IAF en praderas de kikuyo

Coeficiente	Estadístico	EE	Valor P	Cp Mallows	VIF
Intercepto	-16,41	5,36	0,0051		
Temperatura	1,23	0,40	0,0045	12,36	1,12
Precipitación	0,48	0,10	<0,0001	26,19	1,12
Edad	0,02	0,0035	0,0001	22,72	1,0

• **Praderas de polifíticas**

En el análisis de regresión se incluyeron las mismas variables que para las praderas de solo kikuyo, resultando en este tipo de praderas significativas la edad, la precipitación y la finca. La capacidad de predicción del modelo es aceptable de acuerdo con el coeficiente de determinación ($r^2=0,56$) y el coeficiente de determinación ajustado (r^2 ajustado=0,52). La precipitación tuvo el mayor peso sobre el ajuste del modelo al obtener el valor más alto en el índice Cp de Mallows y no se presentó colinealidad entre las variables (Tabla 10). Cuatro fincas resultaron significativas, para las cuales sería necesario generar un modelo independiente (Tabla 10).

Tabla 10. Coeficientes de regresión y estadísticos del modelo para IAF en praderas polifíticas

Coeficiente	Estadístico	EE	Valor P	Cp Mallows	VIF
Intercepto	-0,65	0,19	0,0009		
Precipitación	0,36	0,06	<0,0001	47,35	1,04
Edad	0,01	0,0022	0,0001	22,14	1,01
Finca_Llano Florida	0,38	0,18	0,0360	10,50	1,13
Finca_El Sangreagao	-0,43	0,14	0,0025	15,60	1,16
Finca_El Potrero	-0,62	0,14	<0,0001	26,55	1,15
Finca_El Manzano	-0,73	0,14	<0,0001	34,57	1,15

2.3.6 Calidad nutricional

La calidad nutricional se analizó de manera independiente para las praderas de kikuyo y para las praderas polifíticas. El contenido de PC fue mayor en las praderas de kikuyo que en las praderas polifíticas independientemente de la edad y disminuyó en los dos tipos de pradera de manera significativa después de los 45 días (Figura 8). Los contenidos de FDN y FDA fueron mayores en las praderas de kikuyo respecto a las praderas polifíticas y aumentaron en los dos casos de manera importante después de los 45 días (Figura 9). Las praderas de kikuyo presentaron una mayor DIVMS que las praderas polifíticas independientemente de la edad. En las praderas polifíticas no se observó una respuesta de la DIVMS a la edad, mientras que en las praderas de kikuyo la digestibilidad disminuyó después del día 45 (Figura 10).

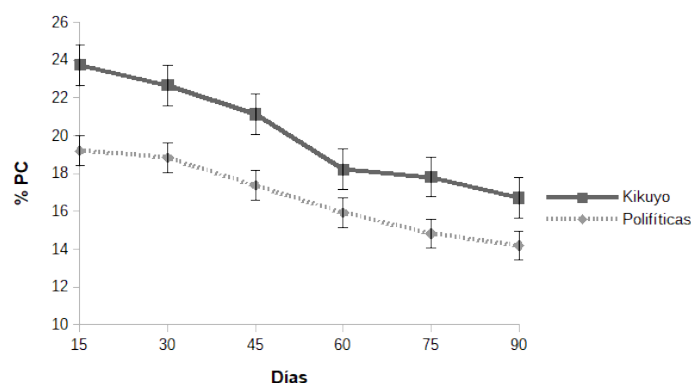


Figura 8. Comportamiento de la proteína cruda en praderas de kikuyo y praderas polifíticas de acuerdo a la edad

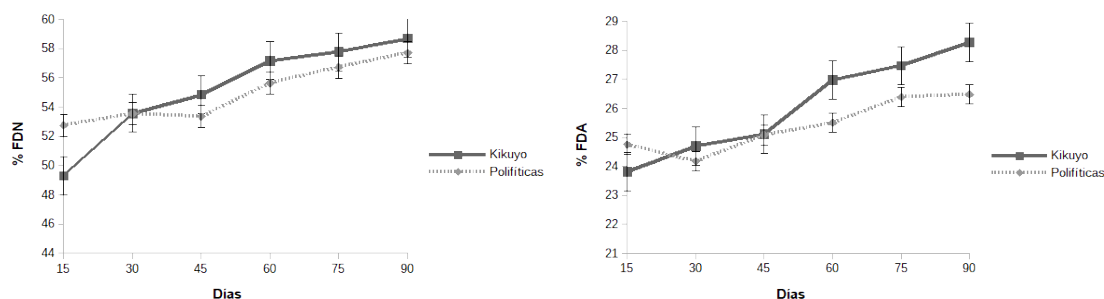


Figura 9. Comportamiento de la FDN y la FDA en praderas de kikuyo y praderas polifíticas de acuerdo a la edad

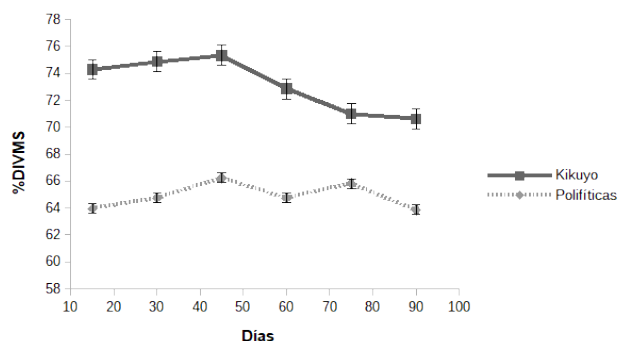


Figura 10. Comportamiento de la DIVMS en praderas de kikuyo y praderas polifíticas de acuerdo a la edad

2.4 Discusión

El kikuyo es una especie altamente invasiva gracias a su hábito de crecimiento caracterizado por la presencia de estolones que pueden alcanzar hasta dos metros de longitud (Muscolo *et al.*, 2013), rizomas gruesos y raíces profundas y ramificadas (Bernal, 1994; Mears, 1970). En el caso de Colombia, como se ha reportado recientemente ha llegado a las zonas de páramo a 4000 m.s.n.m. (Giraldo- Cañas 2013) y tiene una presencia importante en las praderas de los sistemas de producción de leche en ladera en el trópico de altura (Mila y Corredor, 2004).

Este trabajo se enfocó en caracterizar el crecimiento del pasto kikuyo en la provincia de Ubaté considerando la altitud como un factor determinante de sus tasas de crecimiento y

que permitiera generar un modelo para predecir el comportamiento de esta especie en diferentes zonas lecheras del trópico alto colombiano. Sin embargo esto no fue posible dado que las parcelas experimentales que se establecieron a mayor altura perdieron paulatinamente la predominancia del kikuyo, lo cual impidió generar un modelo de su crecimiento asociado a la altura sobre el nivel del mar. Este resultado además indicó la menor competitividad de esta especie (C4) a mayores altitudes donde las temperaturas medias son menores. En estas condiciones, especies C3 como son la falsa poa (*Holcus lanatus*), el pasto oloroso (*Anthoxanthum odoratum*), el azul orchoro (*Dactylis glomerata*), y el trébol rojo (*Trifolium pratense*) tienen ventajas adaptativas que les permiten un mejor desempeño, por su tolerancia a menores temperaturas, teniendo menor temperatura base de emergencia y crecimiento (Mott *et al.*, 2000) y resistencia a las heladas (Marquínez, 2001), adaptándose bien a alturas superiores a los 3.000m.s.n.m (Bernal, 1994). La influencia de la temperatura en los diferentes procesos involucrados en el crecimiento de la planta, hace que se considere el factor principal en la determinación de la distribución y la diversidad de las especies forrajeras (Jones, 1982). Sin embargo, el kikuyo parecería tener ventajas comparativas aún con estas especies cuando los niveles de precipitación son bajos, efecto asociado a su desarrollado sistema radicular que le permite aprovechar el agua almacenada en el suelo a mayor profundidad (Marais, 2001) y a la mayor eficiencia en el uso del agua como especie C4. Especies como *Holcus lanatus* con alta presencia en las praderas a mayor altitud es susceptible al déficit hídrico, encontrándose que la baja disponibilidad de agua en el suelo afecta su crecimiento, reflejado en menor peso de láminas y vainas y menor peso seco total (Herdener, 2004).

Teniendo en cuenta estas diferencias encontradas en la composición botánica se decidió analizar de manera independiente las variables asociadas al crecimiento y la calidad nutricional para las parcelas con presencia exclusiva de kikuyo y las parcelas con praderas polifíticas.

En cuanto a la producción de materia seca en las praderas exclusivamente de kikuyo se encontró que las variables que más influyeron fueron la edad, la precipitación, la temperatura promedio y el número de hojas, teniendo un mayor peso sobre el modelo la temperatura y el número de hojas. Este resultado fortalece lo discutido anteriormente sobre el efecto de la temperatura, factor estrechamente relacionado con la tasa de aparición de hojas (Colabelli *et al.*, 1998; Wilhelm y McMaster, 1995). En cuanto a la

precipitación se puede observar que la producción de materia seca fue menor en la época seca y mayor durante la época de transición (Figura 3), en donde la presencia de días soleados alternados con días lluviosos favorecen el proceso fotosintético. De estas variables, la temperatura y la precipitación son variables ambientales que han sido consideradas relevantes en diferentes modelos de crecimiento de pasturas (Trnka *et al.*, 2006; Herrmann and Schachtel, 2001), por el contrario las dos restantes están asociadas al manejo y en principio sugerirían momentos distintos de cosecha en la curva de acumulación de materia seca de la pastura. La predicción de la acumulación de material seco usando modelos de regresión a partir de la temperatura ambiental han sido utilizados con éxito en pasturas debido a una alta asociación entre la temperatura ambiental y la radiación fotosintéticamente activa (Andrade *et al.*, 2015). Además, la temperatura está estrechamente asociada a la actividad enzimática, la fotosíntesis y el transporte a través de las membranas de la planta (Andrade *et al.*, 2015). La observación que las pasturas de kikuyo pierden competitividad cuando las temperaturas son más bajas o se está más arriba en la montaña limitaría el uso de estos modelos a zonas de alturas más bajas donde la temperatura no limite el desarrollo de la especie.

Para las praderas polifíticas las variables que influyeron en la producción de materia seca fueron la edad, la precipitación y la finca, siendo las de mayor contribución en el modelo la edad y la precipitación. Las producciones más altas se alcanzaron en la época de lluvias y las más bajas en la época seca (Figura 4). En general la productividad de las praderas polifíticas fue menor que la de las praderas de solo kikuyo, independientemente de la época y la edad (Figura 3 y 4). De acuerdo con el análisis de regresión múltiple se podría hacer una aproximación a que la tasa de crecimiento de las praderas polifíticas es cercana a la mitad de la obtenida en praderas de kikuyo, considerando los coeficientes obtenidos de $60 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ para praderas exclusivamente de kikuyo y $30 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ para las praderas polifíticas (Tabla 5 y 6). Por otra parte, el efecto de la variable finca encontrado en el análisis de las praderas polifíticas, indica que hay otros factores específicos de la finca que no fueron medidos e incluidos en el modelo y que inciden en la producción de materia seca.

La altura del kikuyo en las praderas en que fue única especie estuvo influenciada principalmente por la precipitación y la edad. En la época de transición y lluvias el kikuyo alcanzó mayor altura que en la época seca en las diferentes edades y las alturas máximas se presentaron a los 90 días (figura 5). Se encontró una relación lineal fuerte

entre la altura de la pradera y la producción de MS ($r^2=0,6$) en las praderas de solo kikuyo, estimando que por cada centímetro en la ASD la pastura acumula 159 kg de MS ha^{-1} en época seca y 145 kg de MS ha^{-1} en época de lluvias (figura 6). Si bien la altura de la pradera presenta como limitante para la predicción de la biomasa el no tener en cuenta la densidad de la pastura (Canseco *et al.*, 2007), es posible obtener aproximaciones y combinar este criterio con otros como el número de hojas por estolón para determinar el momento de ingreso al pastoreo (Canseco *et al.*, 2007). La altura del kikuyo en las praderas polifíticas fue menor a la alcanzada en las praderas en que predominó como especie, independientemente de la época y la edad. Las variables que más influyeron en la altura del kikuyo en estas praderas también fueron la precipitación y la edad, pero hubo un efecto importante de la variable finca. Aunque la temperatura y la altitud no fueron variables significativas para la ASD, ha sido reportado en literatura que la temperatura puede generar cambios en la morfología de las plantas en zonas templadas, produciéndose plantas más altas con hojas más grandes a temperaturas más altas y plantas más pequeñas pero con mayor macollaje a temperaturas más bajas (Mc William, 1978). La menor altura del kikuyo en las praderas polifíticas podría estar asociada a las bajas temperaturas que se presentan en las zonas más altas, principalmente en la madrugada, lo cual coincidiría con lo reportado por Ivory y Whiteman (1976), quienes encontraron que al someter al kikuyo a temperaturas nocturnas de 4°C, presentó hojas más cortas, más gruesas y una mayor densidad.

El índice de área foliar es la relación entre el área de hojas verdes por unidad de área del suelo y es un indicador de la capacidad de la pastura para interceptar la luz disponible (Moot *et al.*, 2007). Con un índice de área foliar de 1 se estima que la pastura intercepta menos del 50% de la radiación disponible (Moot *et al.*, 2007). En este trabajo se encontraron valores para IAF para el kikuyo cercanos a 1 a los 90 días en las parcelas con praderas polifíticas en la época de baja precipitación indicando pérdidas de energía en el sistema (Moot *et al.*, 2007). El IAF crítico (interceptación del 95% de la luz) reportado para especies como el raigrás perenne es de 6 (Moot *et al.*, 2007), en este trabajo se encontraron valores promedio máximos de 17 en las praderas de solo kikuyo en la época de lluvias, lo cual se atribuye a la conformación de praderas muy densas por parte del kikuyo cuando las condiciones son favorables, dado el hábito de crecimiento estolonífero de esta especie (Marais, 2001).

Las praderas de kikuyo mostraron una buena calidad nutricional, superior a la de las

praderas polifíticas. A los 45 días, cuando la pastura se encontraba entre el estado de 5 y 6 hojas por estolón, la PC fue superior al 20%, la FDN menor al 55%, la FDA inferior al 26% y la DIVMS fue del 75%. Después de los 45 días la calidad nutricional empezó a disminuir, presentando niveles de PC de 16,7% y DIVMS del 70,6% a los 90 días. Estos resultados coinciden con los de Escobar (2018), quien encontró que los cambios en la calidad nutricional del kikuyo son significativos después de la sexta hoja por estolón. En las praderas polifíticas se observa igualmente una disminución en los contenidos de PC y un incremento en la FDN y FDA después de los 45 días, sin embargo la DIVMS no mostró una respuesta a la edad.

En este trabajo no se encontró un efecto importante de las variables relacionadas con las características del suelo (pH y CIC), posiblemente por el manejo homogéneo dado a las parcelas, en donde se realizaron enmiendas de acuerdo al análisis de suelo de cada finca y se aplicó una fertilización base considerando los requerimientos del kikuyo. Factores como el contenido de humedad del suelo y la evapotranspiración no fueron medidos y podrían estar relacionados con la variación encontrada entre fincas que no fue explicada por las variables incluidas en el modelo.

2.5 Conclusiones

El kikuyo presentó menor capacidad para competir con otras especies a mayor altitud, efecto relacionado con una menor temperatura ambiental, ocasionando cambios en la composición botánica de las praderas. Bajo estas condiciones su crecimiento se vio limitado, presentando menor altura sin disturbar y menor índice de área foliar.

Las praderas polifíticas presentaron una menor producción de materia seca y menor calidad nutricional que las praderas de solo kikuyo.

La precipitación influyó de manera importante en todas las variables asociadas al crecimiento del kikuyo tanto en las praderas polifíticas como en las que fue única especie. La temperatura fue una variable significativa para la producción de materia seca en las praderas de solo kikuyo.

Se presentó una variación importante entre fincas que no pudo ser explicada por las variables incluidas en este trabajo en las praderas polifíticas, quedando factores por considerar en torno al crecimiento del kikuyo en este tipo de pasturas como son la disponibilidad de agua en el suelo, la evapotranspiración y características físico-químicas

del suelo diferentes al pH y la CIC.

2.6 Referencias Bibliográficas

Andrade AS, Santos PM, Pezzopane JRM, de Araujo LC, Pedreira BC, Pedreira CGS, Marin FR, Lara MAS. 2015. Simulating tropical forage growth and biomass accumulation: an overview of model development and application. *Grass and Forage Science* 71:54–65.

Anwandter V, Balocchi O, Parga J, Canseco C, Teuber N, Abarzúa A, Lopetegui J y Demanet R. 2007. Métodos y control del pastoreo. En: Manejo del pastoreo. Proyecto FIA. Osorno, Chile.

Ariza-Nieto C, Mayorga OL, Mojica B, Parra D, Afanador-Tellez G. 2018. Use of LOCAL algorithm with near infrared spectroscopy in forage resources for grazing systems in Colombia. *J. Near Infrared Spectrosc.* Vol 26, issue 1, pp. 44–52.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2006. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18 ed. Chapter 4: Animal Feed. USA: WENDT THIEX NJ. 72 p. ISBN 0-935584-77-3.

Bernal J, Espinosa J. 2003. Manual de nutrición y fertilización de pastos. Quito, Ecuador. International Plant Nutrition Institute. 94p.

Bernal J. 1994. Pastos y Forrajes Tropicales. Producción y Manejo. 3ª Edición. Bogotá, Colombia: Banco Ganadero. 575p.

Canseco C, Demanet R, Balocchi O, Parga J, Anwandter V, Abarzúa A, Teuber N, Lopetegui J. 2007. Determinación de la disponibilidad de materia seca en praderas en pastoreo. En: Manejo del pastoreo. Proyecto FIA. Osorno, Chile.

Carulla J, Afanador G, Cárdenas E, Jiménez C, Martínez C, Novoa C, Paraes J, Parra T, Zambrano J, Wills A. 2018. Informe final actividad 6. Levantamiento de la línea base del sector lechero de la provincia de Ubaté. Proyecto: “Innovación, ciencia y tecnología para productores de leche en la provincia de Ubaté – Cundinamarca”.

Colabelli M, Agnusdei M, Mazzanti A, Labreveux M. 1998. El proceso de desarrollo y crecimiento de gramíneas forrajeras como base para el manejo de la defoliación. *Boletín*

148. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA. Buenos Aires, Argentina.

Chapman DF, Tharmaraj J, Agnusdei M, Hill J. 2011. Regrowth dynamics and grazing decision rules: further analysis for dairy production systems based on perennial ryegrass (*Lolium perenne*) pastures. *Grass Forage Sci* 67:77-95.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. 2014. Tercer Censo Nacional Agropecuario. Colombia.

Escobar MA. 2018. Efecto de la madurez del pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov.) sobre la producción de biomasa y la composición nutricional en diferentes altitudes de la provincia de Ubaté. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.

Giraldo-Cañas D. 2013. Las gramíneas en Colombia riqueza, distribución, endemismo, invasión, migración, usos y taxonomías populares. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C., Colombia.

Gobernación de Cundinamarca. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 2018. Estadísticas agropecuarias. Volumen 27.

Herdener M, ME. 2004. Evaluación de accesiones de *Holcus lanatus* L sometidas a tres niveles diferentes de humedad en el suelo. Tesis de licenciatura. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile.

Herrmann A, Schachtel GA. 2001. OSYAQ, an organ-specific growth model for forage grasses. *Grass and Forage Science* 56: 268–284.

Ivory DA, Whiteman PC. 1978. Effect of temperature on growth of five subtropical grasses. II. Effect of low night temperature. *Aust J Plant Physiol* 5(2): 149-157.

Jones RR. Efecto del clima, el suelo y el manejo del pastoreo en la producción y persistencia del germoplasma forrajero tropical. 1983. En: Germoplasma forrajero bajo pastoreo en pequeñas parcelas. Red internacional de evaluación de pastos tropicales. CIAT. Cali, Colombia.

Kutner, M H, Nachtsheim, CJ, Neter J, Li W. 2005. Applied linear statistical models. 5th Ed. McGraw-Hill. Irwin. Boston.

Marais JP. 2001. Factors Affecting the nutritive value of Kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*)- A review. Trop Grasslands 35: 65-84.

Marquínez, CJ. 2001. Determinación de posibles mecanismos fisiológicos de tolerancia a heladas en los pastos kikuyo y falsa poa. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C., Colombia.

Mears PT. 1970. Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) as a pasture grass- A review. Trop Grasslands 4(2): 139-152.

Mila A, Corredor G. 2004. Evaluación de la composición botánica de una pradera de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) recuperada mediante escarificación mecánica y fertilización con compost. Rev Corpoica 5 (1): 70-75.

Moot DJ, Scott WR, Roy AM, Nicholls AC. 2000. Base temperature and thermal time requirements for germination and emergence of temperate pasture species. New Zealand Journal of Agricultural Research 43:15-25.

Mc William JR. 1978. Response of pasture plants to temperature. En: Wilson JR. Plant relations in pastures. CSIRO. Melbourne, Australia.

Moot DJ, Matthew C, Kemp PD. 2007. Growth of pastures and supplementary crops. En: Pasture and supplements for grazing animals. New Zealand Society of Animal Production. Ocassional Publication No. 14.

Ochoa R, H.1941. Anotaciones sobre pastos. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín 4 (11): 1144-1149.

Parga, J.; Balocchi, O.; Teuber, N.; Abarzúa, A.; Lopetegui, J.; Anwandter, V.; Canseco, C. y Demanet, R. 2007. Criterios y recomendaciones para el manejo del pastoreo. en: Manejo del pastoreo. Proyecto FIA. Osorno, Chile.

R Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

Soil Survey Division Staff (SSDS). 1993. Soil survey manual. Handbook No. 18. United States Department of Agriculture (USDA). Washington D.C. 437p.

Tilley J M A, Terry L A. 1963. A two stage technique for in vitro digestion of forage crops. J. Br. Grassl. Soc. 18: 104-111.

Trnka M, Eitzinger J, Gruszczynski G, Buchgraber K, Resch R, Schaumberger A. 2006.

A simple statistical model for predicting herbage production from permanent grassland. Grass and Forage Science 61: 253–271.

Van Soest P, Robertson J, Lewis B. 1991. Methods for dairy fiber, neutral de-tergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutri-tion. Journal of Dairy Sci. 74:3586-3597.

Wilhelm W y McMaster G S. 1995. Phyllochron in grass development and growth en: Symposium on the Phyllochron. Crop Science 35: 1-3.

3. Temperatura base de crecimiento y filocrono para el pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov. Morrone)

Amanda Acero¹, Zoot, MSc; Esteban Molina¹, Zoot, Msc; Alfonso Parra-Coronado² Ing. Agric., MSc, PhD; Gerhard Fischer³, Ing. Hort., MSc, PhD; Juan E. Carulla¹, MSc, PhD

¹Grupo de Investigación en Nutrición Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, ² Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Facultad de Ingeniería, ³ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia

Resumen

Con el fin de determinar la temperatura base (Tb) de crecimiento a través de la observación de la aparición de hojas y calcular el filocrono para el pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov. Morrone), se establecieron tres parcelas con un mismo suelo en tres fincas de la provincia de Ubaté ubicadas a diferente altitud (2560, 2640, 3143 msnm). Se realizaron cuatro ciclos de mediciones que comprendieron un tiempo total de ocho meses. La temperatura base fue determinada por el método de mínimo coeficiente de variación utilizando un modelo de regresión de segundo grado y se validó el modelo obtenido por el método de validación cruzada. Los valores de temperatura base obtenidos fueron de 4,02; 3,68; 3,93 y 3,62 °C, para la primera, segunda, tercera y cuarta hoja, respectivamente. Se encontró que para la aparición de la primera hoja la planta de kikuyo requiere mayor tiempo térmico (TT) (97,5 GDC) que para la segunda (74,2 GDC), tercera (73,8 GDC) y cuarta hoja (76,0 GDC) ($p < 0,05$). No hubo diferencias en el TT entre fincas ($p > 0,05$). Hubo una tendencia a un mayor número de días calendario requeridos para alcanzar cada estado de hoja en la finca ubicada a mayor altitud, la cual tuvo menores valores de temperatura media. La validación mostró un adecuado ajuste ($r^2 = 0,94$) y una concordancia sustancial ($d = 0,97$) entre los valores

observados y los valores predichos para el TT estimado con los valores de Tb obtenidos para cada estado de hoja. Los resultado de Tb de crecimiento del pasto kikuyo obtenidos en el presente trabajo, permiten realizar predicciones más precisas sobre el filocrono y generar modelos de crecimiento con valores más cercanos a la realidad.

Palabras clave: kikuyu, tasa de aparición de hojas, tiempo térmico, grados día de crecimiento

Abstract

In order to determine the base temperature (Tb) through the observation of the leaves appearance and to estimate the phyllochron for the kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov. Morrone), three plots with the same soil were established in three farms located at different altitude (2560, 2640, 3143 m.a.s.l.) of the Ubaté province. Four measurement cycles were carried out, considering periods of high and low precipitation. The base temperature was determined by the method of minimum coefficient of variation by a second-degree regression model and validated by the cross-validation method. The base temperature values were 4.02, 3.68, 3.93 and 3.62 °C, for the first, second, third and fourth leaf, respectively. It was found that for appearance of the first leaf, kikuyo requires more thermal time (TT) (97.5 GDC) than for the second (74.2 GDC), third (73.8 GDC) and fourth leaf (76.0 GDC) ($p < 0.05$). There were no differences in TT between farms ($p > 0.05$). There was a tendency to a higher number of days required in the farm at the higher altitude. The Tb determined for the growth of the kikuyo grass in the present work permit to make more exact predictions about the phyllochron and to generate growth models with values closest to reality.

Keywords: kikuyu, growing degree days, thermal time, rate of leaf appearance

3.1 Introducción

El pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov. Morrone) es una gramínea originaria de África, introducida a Colombia en 1928 (Ochoa, 1941), distribuida entre los 1.500 y 4.000 msnm de los Andes colombianos (Giraldo-Cañas, 2013). Este forraje ocupa aproximadamente el 80% del área de pastos dedicados a la producción lechera del trópico alto (Mila y Corredor, 2004). No se encontraron estudios que reporten la influencia de la altura sobre el nivel del mar y su relación con la temperatura ambiente sobre el crecimiento de esta gramínea, aspecto necesario para dar recomendaciones de manejo basadas en la fisiología del forraje, que permitan mejorar la productividad y sostenibilidad de las pasturas.

La morfógenesis en las plantas involucra una serie de cambios estructurales organizados que están programados genéticamente y cuya expresión está influenciada por aspectos endógenos y por estímulo de los factores ambientales (Montaldi, 1992). En el caso de los forrajes la morfogénesis está constituida por tres componentes, la tasa de aparición de hojas, la tasa de elongación foliar y la vida media foliar (Lemaire *et al.*, 2009). La tasa de aparición de hojas y la tasa de elongación foliar determinan la acumulación de tejido, mientras que la vida media foliar determina la senescencia (Lemaire *et al.*, 2009). La elongación foliar puede ser restringida por la disponibilidad de agua y nutrientes, principalmente por nitrógeno (Lemaire *et al.*, 2009), mientras que la tasa de aparición de hojas está influenciada principalmente por la temperatura y solo en casos extremos se ve influenciada por la baja disponibilidad de nutrientes (principalmente nitrógeno), por el estrés hídrico y por altas concentración de sales en el suelo (Wilhelm y McMaster, 1995).

La tasa de aparición de hojas se define como el intervalo entre la aparición de dos hojas sucesivas en un mismo tallo o macollo y aunque este intervalo puede ser expresado en días, debido a la estrecha relación que guarda con la temperatura, se ha calculado preferiblemente como suma térmica, sumatoria que se denomina filocrono (Colabelli *et al.*, 1998). Para el caso de los forrajes, el filocrono puede ser determinado para diferentes épocas o regiones, a través del tiempo térmico, entendido como la acumulación de unidades de calor y grados día de crecimiento, los cuales se calculan a partir de la temperatura media diaria y la temperatura base de crecimiento de la especie (Moot *et al.*, 2007).

La temperatura base (T_b) es la temperatura por debajo de la cual no hay desarrollo o

crecimiento en la planta, es decir por debajo de la cual no hay aparición de nuevas hojas (Moot *et al.*, 2007). Para el pasto kikuyo, trabajos previos realizados por Ivory y Whiteman (1978) bajo condiciones controladas, reportan como temperatura crítica baja 8 °C para el crecimiento del kikuyo y trabajos realizados por Colman y O'Neill (1978) en Australia, reportan que con temperaturas medias entre 10 y 11 °C cesa su crecimiento, valores que han sido asumidos como referentes de la Tb. Sin embargo en Colombia, se ha observado la presencia de kikuyo en las praderas por encima de los 2.900msnm, en sitios que presentan temperaturas mínimas diarias inferiores a 8°C (IDEAM). Así mismo, no existen reportes del tiempo térmico para la aparición de hojas en esta especie bajo condiciones del trópico y para diferentes estados de hoja (número de hojas por estolón).

La predicción de la acumulación de la materia seca usando modelos de regresión a partir de la temperatura ambiente ha sido usada exitosamente en pasturas debido a la alta asociación entre la temperatura ambiente y la radiación fotosintéticamente activa (Kiniry *et al.*, 2018; Andrade *et al.*, 2015). Además la temperatura se encuentra estrechamente relacionada con la actividad enzimática, la fotosíntesis y el transporte a través de membranas en la planta (Andrade *et al.*, 2015). Conocer la Tb, el filocrono y determinar si existen diferencias debidas a la altitud o entre estados de hojas en este parámetro, permitirá entender el crecimiento de esta pastura a diferentes altitudes y facilitar la definición de estrategias para el manejo de la pastura dependiendo de la altitud. Conociendo los grados día requeridos para cada estado de hoja, será posible a través de la temperatura media de un lugar estimar el número de días calendario necesarios para llegar al estado de hoja deseado para el pastoreo.

El objetivo de este trabajo fue determinar la temperatura base de crecimiento y el filocrono para el pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov. Morrone) en tres fincas de la provincia de Ubaté ubicadas a diferente altura sobre el nivel del mar.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 Establecimiento de las parcelas y mediciones

Se seleccionaron tres fincas ubicadas a diferente altitud dentro de la provincia de Ubaté en el departamento de Cundinamarca, Colombia (Tabla 11) con presencia de praderas de kikuyo.

Tabla 11. Información de las fincas en las cuales se establecieron las parcelas

Finca	Municipio	Altitud (msnm)	Coordenadas
El Regalo	Ubaté	2.560	5°32'46''N -73°79'85''W
El Potrero	Sutatausa	2.640	5°22'14''N-73°14'78''W
El Manzano	Tausa	3.143	5°17'86''N-73°10'72''W

En cada finca se seleccionaron tres parcelas de 1m² a las cuales se les removió la cobertura vegetal y el suelo hasta una profundidad de 40 cm. En cada parcela el suelo fue sustituido por nuevo suelo proveniente de una misma localidad y se sembró la cobertura vegetal removida que estaba constituida principalmente por kikuyo. Una vez establecido el kikuyo se dio inicio a las mediciones, realizando cuatro ciclos en un período de 8 meses. Cada ciclo comprendió el encalado, un corte de homogenización, la fertilización y el seguimiento a la aparición de hojas. EL ciclo de mediciones concluía cuando la mayoría de los estolones tenían por lo menos una hoja senescente. Las fechas de los ciclos fueron: 16 de marzo a 5 de mayo de 2017, 18 de mayo a 16 de junio de 2017, 28 de julio a 6 de octubre de 2017 y 14 de octubre a 21 de noviembre de 2017.

La cal dolomita se aplicó de acuerdo al resultado del análisis del suelo utilizado (900 kg ha⁻¹ año⁻¹). La fertilización se hizo para alcanzar una tasa anual de nitrógeno (100 kg ha⁻¹ año⁻¹), fósforo (69 kg ha⁻¹ año⁻¹), potasio (46 kg ha⁻¹ año⁻¹) y cloruro de magnesio (25 kg ha⁻¹ año⁻¹) de acuerdo con las recomendaciones de Bernal y Espinosa (2003) para el kikuyo. El corte de uniformización se hizo a una altura de 10 cm y se marcaron 5 estolones por parcela, a los cuales se les registró la aparición de hojas cada 6 días aproximadamente.

En cada finca se instaló una micro estación meteorológica serie WatchDog 1000 para el registro continuo de temperatura, humedad relativa, precipitación y radiación fotosintéticamente activa (PAR).

3.2.2 Determinación de la temperatura base

La Tb fue estimada por el método de mínimo coeficiente de variación de los GDC para la aparición de cuatro hojas (primera, segunda, tercera y cuarta hoja) en cada una de las fincas. Este método ha sido utilizado previamente en otros trabajos (Parra-Coronado *et al.*, 2015; Moreno *et al.*, 2014; Salazar-Gutiérrez *et al.*, 2013; Ruml *et al.*, 2010; Pulido *et al.*, 2008; Salazar, 2006; Yang *et al.*, 1995).

El coeficiente de variación es definido como (Yang *et al.*, 1995):

$$CV\ GDC = \frac{DS\ GDC}{f(x)} * \left(\frac{100}{100} \right) \quad (1)$$

Donde CV GDC es el coeficiente de variación en grados día de crecimiento, DS GDC es la desviación estándar de los grados día de crecimiento acumulados en n plantas y f(x) es la media de los grados día de crecimiento acumulados en n plantas.

La ecuación obtenida de la derivada de GDC (Yang *et al.*, 1995) es la siguiente:

$$\frac{dCV\ GDC}{dx} = \left(\left\{ \frac{\sum_{i=1}^n [f_i(x) - f(x)]^2}{(n-1)f(x)} \right\}^{1/2} \right) \quad (2)$$

Cuando la ecuación 2 es cero la temperatura base (x) puede ser expresada como (Yang *et al.*, 1995):

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n T_i d_i^2 \sum_{i=1}^n T_i d_i - \sum_{i=1}^n d_i \sum_{i=1}^n T_i^2 d_i^2}{\sum_{i=1}^n d_i^2 \sum_{i=1}^n T_i d_i - \sum_{i=1}^n d_i \sum_{i=1}^n T_i d_i^2} \quad (3)$$

Donde T_i es la temperatura media general de la planta i th, d_i es el número de días de la planta i th, y n es el número de plantas.

La suma de la temperatura media fue calculada para la aparición de cada hoja en cada uno de los estolones marcados en cada finca. Para el estado de primera hoja se tomó la temperatura media desde el inicio del ciclo hasta que apareció la primera hoja, para el estado de segunda hoja se tomó la temperatura media desde la aparición de la primera hoja hasta que apareció la segunda hoja y así sucesivamente con los estados de tercera y cuarta hoja.

Luego se minimizó el coeficiente de variación (ecuación 1) de las cantidades de calor acumuladas a partir de un rango de temperatura entre 0 y 12°C. Se consideró como T_b para cada hoja en cada finca, la temperatura en la cual se obtuvo el coeficiente de variación más pequeño utilizando un modelo de regresión de segundo grado. Para la estimación de los parámetros de la ecuación cuadrática se utilizó la herramienta Solver de Excel®, la cual realiza un procedimiento no lineal iterativo que hace la primera estimación con los valores iniciales asignados a los parámetros de la ecuación y luego aumenta o disminuye el valor de los parámetros hasta que encuentra el valor mínimo de la suma de los cuadrados de las desviaciones.

3.2.3 Estimación del tiempo térmico (filocrono)

Se determinó el tiempo térmico en grados día de crecimiento (GDC) para la aparición de cada estado de hoja en cada finca siguiendo la metodología presentada por Parra-Coronado *et al.*, (2015) a través de la ecuación 1, utilizando la sumatoria de la temperatura media y la T_b para cada estado de hoja, determinada por el procedimiento explicado previamente.

$$TT = GDC_i = \sum_{i=1}^n T_i - nT_b \quad (4)$$

Donde, TT es el tiempo térmico (°Cd) acumulado durante los n días hasta que aparezca una hoja, T_i es la temperatura media diaria (°C) para el día i y T_b es la temperatura base (°C). Los GDC_i para la acumulación de TT se calculan utilizando las siguientes consideraciones:

$$T_i = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \quad (5)$$

Donde T_{\max} es la temperatura máxima (°C) para el día i y T_{\min} es la temperatura mínima (°C) para el día i .

Si T_i es $> T_b$ $GDC_i = T_i - T_b$

Si T_i es $< T_b$ $GDC_i = 0$

Con el fin de determinar posibles diferencias en el tiempo térmico entre los estados de hojas, entre fincas o alguna interacción, se utilizó un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 4*3 en donde el primer factor correspondió a los 4 estados de hojas y el segundo factor a las 3 fincas. La comparación de las medias se hizo mediante la prueba de Tukey, utilizando para el análisis de la información el programa estadístico InfoStat versión 2016I (FCA-UNC).

Para el desarrollo del modelo se utilizó la información correspondiente a los tres últimos ciclos de mediciones y la información del primer ciclo se utilizó para la validación del mismo, a través del método de validación cruzada, que consiste en un análisis de regresión entre los valores predichos y los valores observados (Parra-Coronado *et al.*, 2015). Esta validación se hizo para el TT (GDC) utilizando los valores de temperatura base determinados para cada estado de hojas. Igualmente se hizo una validación para los días calendario. Los criterios de evaluación del modelo fueron el coeficiente de determinación (r^2) y el coeficiente de correlación de concordancia (CCC). El CCC (Lin, 1989), también conocido como índice de reproducibilidad, es un estadístico que permite evaluar la precisión y la repetibilidad de un modelo simultáneamente (Tedeschi, 2004).

3.3 Resultados

La temperatura media varió entre 11 y 16,2 °C y fue mayor para el primer ciclo y menor para la mayor altitud. La precipitación diaria varió entre 1,1 y 5,8 mm d⁻¹. El segundo ciclo fue el de mayor precipitación para las tres localidades, el tercer ciclo fue el de menor

precipitación para las fincas ubicadas a menor altitud y mientras que el cuarto ciclo fue el de menor precipitación para la finca ubicada a mayor altitud. La radiación PAR vario entre 12.374 y 17.606 ($\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$). La menor radiación se presentó en el primer ciclo y la mayor para el tercer ciclo coincidiendo con la mayor y menor precipitación, respectivamente (Tabla 12).

Tabla 12. Condiciones ambientales registradas para los cuatro ciclos de mediciones

Farm	Ciclo	Temperatura Media	Precipitación promedio mm d^{-1}	Radiación PAR ² ($\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$)
El Regalo – Ubaté (2560msnm)	1	15,8	3,1	13414,3
	2	14,6	3,9	15310,4
	3	13,9	1,1	17103,2
	4	14,4	2,6	16779,6
El Potrero – Sutatausa (2640msnm)	1	16,2	3,4	13474,6
	2	14,3	3,8	16181,1
	3	13,3	1,0	17606,7
	4	13,9	3,4	15498,7
El Manzano – Tausa (3143msnm)	1	12,6	3,6	12374,6
	2	11,5	5,8	13345,1
	3	11,0	3,4	14928,9
	4	11,3	3,0	12261,5

² Radiación PAR promedio diario en cada ciclo

3.3.1 Temperatura base

La Tb asociada a la emergencia de una hoja no varió de manera importante entre hojas, encontrándose valores de Tb de 4,02; 3,68; 3,93 y 3,62 °C, para la primera, segunda, tercera y cuarta hoja respectivamente (Figura 11). Estas temperaturas corresponden a aquellas en las cuales se encontró el menor coeficiente de variación de la suma de calor acumulado para la hoja correspondiente, las ecuaciones de regresión son presentadas en la figura 11.

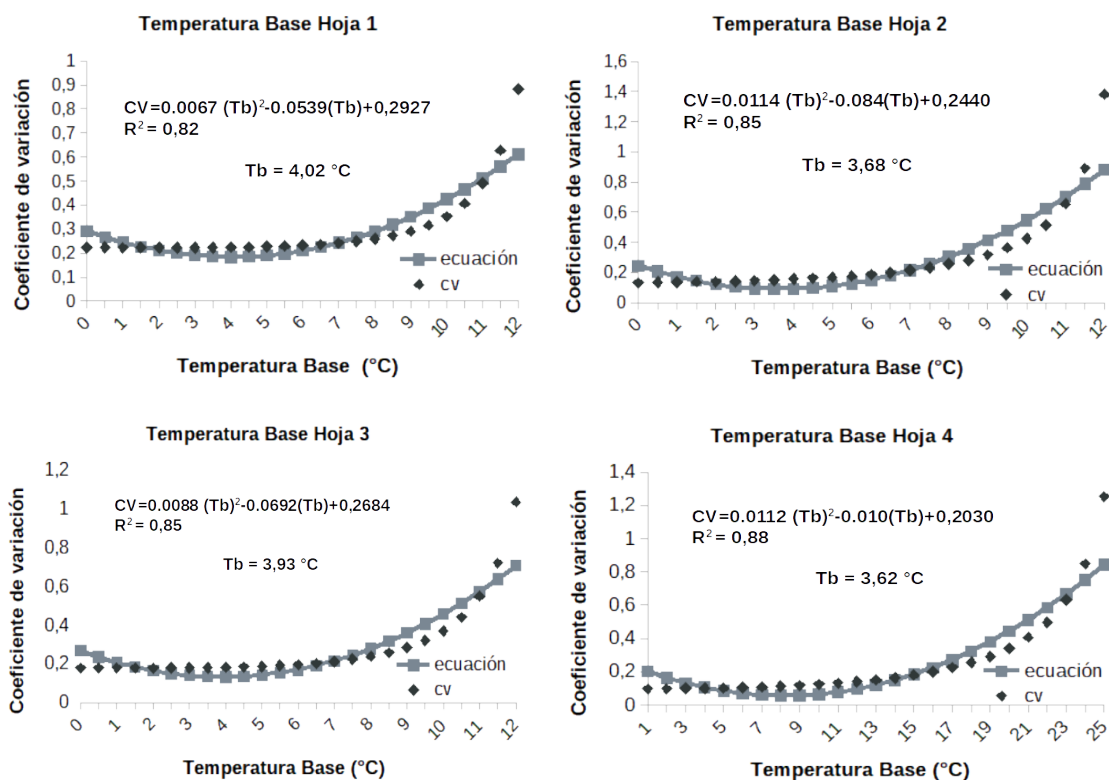


Figura 11. Temperatura base de crecimiento del pasto kikuyo para diferentes estados de hoja

3.3.2 Filocrono

El filocrono para la emergencia de las hojas 1, 2, 3 y 4 en cada estolón fue determinado utilizando los valores de temperatura base presentada anteriormente (Figura 11). Se verificó el cumplimiento de los supuestos del modelo: homogeneidad del material experimental y distribución normal del error experimental, con media cero y varianza común. El análisis estadístico mostró que no hubo interacción entre el orden de emergencia de la hoja y la altitud y no hubo efecto de la altitud ($p > 0.05$). Sin embargo se presentaron diferencias en el filocrono asociadas al orden de aparición de las hojas ($p = 0.0093$). Se encontró que la planta de kikuyo requiere una mayor cantidad de GDC (97.5 ± 21.9) para la emergencia de la primera hoja que para la aparición de la segunda (74.2 ± 11.3), tercera (73.8 ± 13.5) y cuarta hoja (76.0 ± 8.7) (Tabla 13).

Tabla 13. Filocrono y días calendario según estado de hojas para el pasto kikuyo

Estado de hoja	Tiempo Térmico (GDC)					Días calendario				
	Tausa	Sutatausa	Ubaté	Promedio	EE	Tausa	Sutatausa	Ubaté	Promedio	EE
1	108,5	92,6	91,5	97,5 b	5,23	12,0	9,1	7,8	10,5b	0,56
2	62,1	76,3	84,3	74,2 a	5,23	8,6	7,1	7,1	8,0 a	0,56
3	67,2	73,3	80,9	73,8 a	5,23	8,9	7,2	7,5	7,9a	0,56
4	67,6	79,1	81,4	76,0 a	5,23	8,6	7,1	7,5	8,0a	0,56
Promedio	76,3	80,3	84,5			9,7	8,1	8,0		
EE	4,53	4,53	4,53			0,48	0,48	0,48		

*Letras diferentes: diferencias significativa $p < 0.05$

EE: error estándar de la media

Respecto a los días calendario se encontró que la planta de kikuyo requiere un mayor número de días calendario ($p = 0.0064$) para la aparición de la primera hoja después del corte, que para la aparición de las hojas subsecuentes (Tabla 13). En la finca ubicada a mayor altitud se requirió un mayor número de días calendario para la aparición de una hoja ($p = 0.0332$).

La validación cruzada mostró que la estimación del TT utilizando la Tb determinada para cada estado de hoja presenta buen ajuste como lo indica el coeficiente de determinación (Figura 12). Así mismo se encontró que existe concordancia (CCC) sustancial entre los valores observados y los valores predichos (Figura 12) para el TT. Para el caso de los días calendario se encontró un menor coeficiente de determinación y menor concordancia entre los valores observados y los valores predichos (Figura 12), pero aun así es bueno el ajuste. Estos resultados confirman que es más preciso considerar el TT (o tiempo fisiológico) como parámetro de crecimiento, que el simple uso de días calendario.

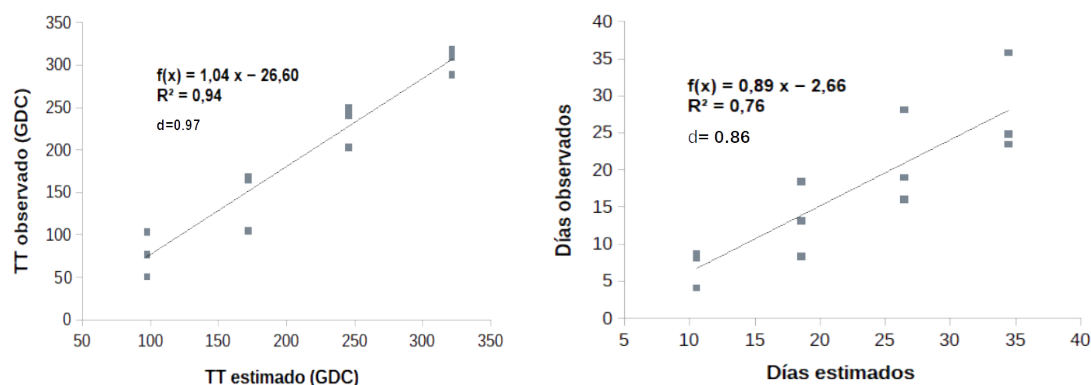


Figura 12. Validación cruzada del modelo de temperatura base para el pasto kikuyo para cuatro estados de hojas. A. Comparación de los valores observados vs estimados del tiempo térmico (TT). B. Comparación de los días calendario observados vs estimados.

3.4 Discusión

En los últimos años se han venido realizando estudios sobre la determinación del filocrono en las diferentes especies forrajeras y su uso como criterio para el manejo del pastoreo (Romano *et al.*, 2014; da Silva *et al.*, 2012; Acharán *et al.*, 2009; Fulkerson y Donaghy, 2001; Reeves y Fulkerson, 1996). Este criterio permite determinar el momento óptimo de cosecha teniendo en cuenta el recambio foliar de la planta y el inicio de la senescencia, con el fin de cosechar forraje de buena calidad nutricional, disminuir las pérdidas por material muerto y mejorar la eficiencia de uso de la pradera (Fulkerson y Donaghy, 2001). Para la correcta determinación del filocrono es importante el conocimiento de la temperatura base de crecimiento específica de la especie forrajera, al ser este uno de los parámetros de la ecuación de determinación de los grados día de crecimiento. La determinación de la temperatura base tradicionalmente se realiza mediante cámaras de crecimiento con condiciones controladas, sin embargo recientemente se han venido realizando investigaciones para determinar la temperatura base de crecimiento en diferentes especies a partir de datos tomados en condiciones de campo y utilizando diferentes métodos matemáticos (Parra-Coronado *et al.*, 2015; Moreno *et al.*, 2014; Romano *et al.*, 2014; Salazar-Gutiérrez *et al.*, 2013; Ruml *et al.*, 2010; Pulido *et al.*, 2008; Salazar, 2006; Yang *et al.*, 1995), como el utilizado en el presente trabajo, con muy buenos resultados.

Los valores de T_b de crecimiento para el pasto kikuyo determinados a través de la aparición de nuevas hojas después del corte en este experimento, resultaron más bajos

a los reportados en literatura. En este trabajo se encontraron valores de T_b cercanos a $4,0^{\circ}\text{C}$ para la aparición de las cuatro primeras hojas, lo que difiere de la T_b de crecimiento de $8,0^{\circ}\text{C}$ reportada en varios autores (Fonseca *et al.*, 2016; Muscolo *et al.*, 2013; Marais, 2001; Herrero *et al.*, 2000a; Herrero *et al.*, 2000b) a partir de los resultados del trabajo realizado por Ivory y Whiteman (1978) en kikuyo. También resultó inferior al rango de $10\text{--}11^{\circ}\text{C}$ propuesto para esta especie por Colman y O'Neill (1978) en un estudio realizado en Australia. La temperatura de 8°C reportada por Ivory y Whiteman (1978) y que ha sido utilizada como temperatura base para la determinación del TT (Fonseca *et al.*, 2016; Herrero *et al.*, 2000a; Herrero *et al.*, 2000b) corresponde en realidad a una temperatura media diaria crítica según los autores, quienes aclaran que con temperaturas diurnas de 20°C , la temperatura crítica nocturna para el crecimiento del kikuyo fue de 4°C , similar a lo encontrado en este trabajo. En dicho estudio no hubo diferencias en la tasa relativa de crecimiento, la tasa de asimilación neta y el peso total de las hojas entre las plantas de kikuyo que se mantuvieron a 4°C y 8°C . Las plantas que crecieron a 4°C presentaron hojas más cortas y por tanto una menor área foliar, compensando el peso con un incremento en el grosor de la hoja, por tanto por debajo de 8°C no se detuvo el crecimiento del kikuyo como se ha asumido, lo que ocurrió fue un cambio en el hábito de crecimiento de la planta. Esto coincide con las observaciones de los autores realizadas en la provincia de Ubaté, en donde en las zonas de ladera a mayor altitud, que presentan temperaturas nocturnas más bajas, la planta de kikuyo elonga menos. Considerando lo anterior, los resultado de T_b de crecimiento del pasto kikuyo obtenidos en el presente trabajo permiten realizar predicciones más precisas sobre el filocrono y contribuirá a generar modelos de crecimiento con valores más cercanos a la realidad, dada la importancia de este parámetro en la simulación del crecimiento de las plantas.

En cuanto al filocrono los resultados mostraron que el kikuyo requiere mayor TT para la aparición de la primera hoja, que para la aparición de las hojas restantes. Esta diferencia se explica por la condición que presenta una planta forrajera después de ser defoliada. La defoliación entendida como la remoción del material fotosintéticamente activo por consumo directo del animal, por corte o pisoteo (Heady y Child, 1994) representa para la planta una interrupción en su crecimiento y la respuesta adaptativa de las plantas forrajeras a esta situación es su rebrote (Lemaire, 2001). Entre más intensa sea la defoliación, menor área foliar residual queda disponible para realizar fotosíntesis, comprometiendo la economía del carbono en la planta. El suministro de carbono de la planta llega a ser menor que la demanda para sostenimiento y crecimiento, entrando en

un balance negativo hasta que la planta recobre el área foliar necesaria para restablecer la capacidad fotosintética. La principal adaptación fisiológica a este desbalance consiste en la movilización de carbono (carbohidratos de reserva) de la base de los tallos, para maximizar la expansión de nueva área foliar (Fulkerson y Donaghy, 2001; Lemaire, 2001; Fulkerson *et al.*, 1999). Este esfuerzo fisiológico que realiza la planta, explica la diferencia en el TT requerido para la aparición de la primera hoja, sin embargo esta diferencia no ha sido estudiada por otros autores en otras especies forrajeras.

Para el caso de los días calendario necesarios para la aparición de una hoja, se encontró una diferencia significativa entre fincas, con una tendencia a mayor cantidad de días en la finca El Manzano, aunque esta diferencia no fue detectada por la prueba de Tukey. Este resultado era de esperarse dado que en todos los ciclos esta finca presentó menores valores de temperatura media (Tabla 12). La variación encontrada aquí confirma la importancia de definir el intervalo de pastoreo en función del filocrono (GDC) y no en días calendario, dado que el desarrollo fenológico de las pastura puede variar de manera importante, aún entre zonas muy próximas como se observa en este caso. Lo recomendado sería a partir del filocrono hacer una aproximación a los días que puede tardar la planta en llegar al estado de hojas óptimo para el pastoreo, conociendo el comportamiento de la temperatura media del sitio en particular. De esta manera se genera una recomendación práctica para el productor, pero específica para su finca, ya que una recomendación generalizada puede afectar el rendimiento y la calidad de la pastura cosechada.

La validación mostró que los valores de temperatura base obtenidos para los diferentes estados de hoja por el método de mínimo coeficiente de variación permiten determinar de manera confiable el filocrono para el pasto kikuyo, encontrando una concordancia sustancial, entre los valores observados y los predichos. La variación mencionada anteriormente en los días calendario generó que para este valor la concordancia entre los días observados y los predichos fuera menor, sin embargo hubo un buen ajuste en el modelo. Aunque la hipótesis de pendiente igual a uno fue rechazada para las dos variables, autores como Tedeschi (2004), han considerado que para este tipo de relaciones entre valores predichos y valores observados en donde la ecuación generada a partir de la recta no es usada con una finalidad de predicción, resulta más importante la información dada por criterios como el coeficiente de correlación de concordancia (CCC), que permite evaluar la exactitud y la precisión del modelo, el cual como se mencionó anteriormente fue satisfactorio para las dos variables.

3.5 Conclusiones

La temperatura base de crecimiento del pasto kikuyo determinada en este trabajo fue de 4,02, 3,68, 3,93 y 3,62 °C, para la primera, segunda, tercera y cuarta hoja respectivamente, valores que resultaron inferiores a los reportados en literatura, lo cual permitirá calcular el filocrono y generar modelos de crecimiento para esta especie más cercanos a la realidad.

La estimación del filocrono con los valores de T_b determinados mostró que para la aparición de la primera hoja después de la defoliación, la planta de kikuyo requiere un TT mayor que para la aparición de los demás estados de hoja, lo cual podría estar relacionado con la adaptación fisiológica en respuesta al pastoreo que tienen las pasturas perennes, que consiste en la movilización de carbohidratos de reserva para el rebrote.

La variación en los días calendario necesarios para la aparición de una hoja entre fincas y altitudes confirma la importancia de ajustar el intervalo de pastoreo de acuerdo al filocrono (GDC), un método que se relaciona estrechamente con el desarrollo fenológico de la pastura y los consecuentes cambios en biomasa y calidad nutricional.

3.6 Referencias Bibliográficas

Acharán F, Balcchi O, López I. 2009. Filocrono, producción de fitomasa y calidad nutritiva de una pradera de *Lolium perenne* L./ *Trifolium repens* L. sometida a tres frecuencias e intensidades de defoliación. *Agro Sur* 37(2) 81-90.

Andrade SA, Santos PM, Pezzopane JRM, de Araujo LC, Pedreira BC, Pedreira CGS, Marin FR, Lara MAS. 2016. Simulating tropical forage growth and biomass accumulation: an overview of model development and application. *Grass Forage Sci* 71: 54-65. Doi:<http://doi.org/10.1111/gfs.12177>

Bernal J, Espinosa J. 2003. Manual de nutrición y fertilización de pastos. Quito, Ecuador. International Plant Nutrition Institute. 94p.

Colabelli M, Agnusdei M, Mazzanti A, Labreveux M. 1998. El proceso de desarrollo y crecimiento de gramíneas forrajeras como base para el manejo de la defoliación. Boletín 148. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA. Buenos Aires, Argentina.

Colman RL, O'Neill GH. 1978. Seasonal variation in the potential herbage production and response to nitrogen by kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*). *J. agric. Sci., Camb.* 91(1): 81-90.

da Silva EA, da Silva WJ, Barreto AC, Barbosa A, Valente JM, Mendes JR, Queiroz DM. 2012. Dry matter yield, thermal sum and base temperatures in irrigated tropical forage plants. *R. Bras. Zootec.* 41(3):574-582.

Fitter AH, Hay RKM. 2002. Environmental physiology of plants. Third edition. Academic Press. UK. 193p.

Fonseca C, Balocchi O, Keim J P, Rodríguez C. 2016. Efecto de la frecuencia de defoliación en el rendimiento y composición nutricional de *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov. *Agro Sur* 44 (3): 67-76.

Fulkerson WJ, Donaghy DJ. 2001. Plant-soluble carbohydrate reserves and senescence – key criteria for developing an effective grazing management system for ryegrass-based pastures: a review. *Aust J Esp Agr.* 41:261- 275.

Fulkerson WJ, Slack K, Havilah E. 1999. The effect of defoliation interval and height on growth and herbage quality of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*). *Trop Grasslands* 33:138-145.

Heady H, Child R. 1994. Rangeland ecology and management. Westview Press. USA.

Ivory DA, Whiteman PC. 1978. Effect of temperature on growth of five subtropical grasses. II. Effect of low night temperature. Aust J Plant Physiol 5(2): 149-157.

Giraldo-Cañas D. 2013. Las gramíneas en Colombia riqueza, distribución, endemismo, invasión, migración, usos y taxonomías populares. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C., Colombia.

Herrero M, Fawcett RH, Silveira V, Busqué J, Bernués A, Dent JB. 2000a. Modelling the growth and utilisation of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) under grazing. 1. Model definition and parameterization. Agricultural Systems 65:73-97.

Herrero M, Fawcett RH, Dent JB. 2000b. Modelling the growth and utilisation of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) under grazing. 2. Model validation and analysis of management practices. Agricultural Systems 65:99-111.

IDEAM. Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales. Sistema de información ambiental. Reporte estación 24015380 Carmen de Carupa 2010 a 2013.

Kiniry JR, Kim S, Williams AS, Lock TR, Kallenbach LR. 2018. Simulating bimodal tall fescue growth with a degree-day-. based process-oriented plant model. Grass Forage Sci.00:1–8. Doi:<http://doi.org/10.1111/gfs.12346>

Lemaire G, Da Silva SC, Agnusdei M, Wade M, Hodgson. 2009. Interactions between leaf lifespan and defoliation frequency in temperate and tropical pastures: a review. Grass and Forage Science, 64:341–353. doi: 10.1111/j.1365-2494.2009.00707.x.

Lemaire, G. 2001. Ecophysiology of grasslands: dynamic aspects of forage plant populations in grazed swards. In: International Grassland Congress, São Pedro. Proceedings São Pedro: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz. p.29-37.

Lin LIK. 1989. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. Biometrics, 45 (1): 255–268. Doi:<http://doi.org/10.2307/2532051>

Marais JP. 2001. Factors Affecting the nutritive value of Kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*)- A review. Trop Grasslands 35: 65-84.

Mila A, Corredor G. 2004. Evaluación de la composición botánica de una pradera de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) recuperada mediante escarificación mecánica y fertilización con compost. Rev Corpoica 5 (1): 70-75.

Moreno LSB, Pedreira CGS, Boote KJ, Alves RR. 2014. Base temperature determination of tropical *Panicum* spp. grasses and its effects on degree-day-based models. *Agricultural and Forest Meteorology* 186:26 – 33.

Montaldi RE. 1992. Morfogénesis vegetal. Una mini revisión. *Agriscientia* 9(1):31-36.

Moot DJ, Matthew C, Kemp PD. 2007. Growth of pastures and supplementary crops. En: *Pasture and supplements for grazing animals*. New Zealand Society of Animal Production. Occasional Publication No. 14.

Muscolo A, Panuccio MR, Escel A. 2013. Ecophysiology of *Pennisetum clandestinum*: a valuable salt tolerant grass. *Environ Exp Bot* 92: 55-63.

Ochoa R, H.1941. Anotaciones sobre pastos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 4 (11): 1144-1149.

Parra-Coronado A, Fischer G, Chaves-Cordoba B. 2015. Tiempo térmico para estados fenológicos reproductivos de la feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret). *Acta biol. Colomb.* 20(1): 163-173. Doi: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v20n1.43390>.

Pulido S, Bojacá CR, Salazar M, Chaves B. 2008. Node appearance model for Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) in the high altitude tropics. *Biosyst Eng.*101:383-387. Doi:10.1016/j.biosystemseng.2008.09.009.

Reeves M, Fulkerson WJ. 1996. Establishment of an optimal grazing time of kikuyu pastures for dairy cows. In: *Proceedings of the 8th Australian Agronomy Conference; 1996 Enero 30 – Febrero 2, Toowoomba, Queensland*. 4p.

Romano G, Schaumberg A, Piepho HP, Bodner A, Peratoner G. 2014. Optimal base temperature for computing growing degree-day sums to predict forage quality of mountain permanent meadow in South Tyrol. *Grassland Science in Europe-EGF at 50: the future of European Grasslands*. 9:655-658.

Ruml M, Vuković A, Milatović D. 2010. Evaluation of different methods for determining growing degree-day thresholds in apricot cultivars. *Int J Biometeorol*. 54:411-422. Doi: 10.1007/s00484-009-0292-6.

Salazar-Gutierrez MR, Johnson J, Chaves-Cordoba B, Hoogenboom G. 2013. Relationship of base temperature to development of winter wheat. *Int J Plant Prod*. 7(4):741-762.

Salazar, MR. 2006. Un modelo simple de producción potencial de uchuva (*Physalis peruviana* L.). (Tesis de Doctorado en Ciencias Agropecuarias – Área Agraria). Facultad de gronomia, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. p.110.

Tedeschi LO. 2004. Assesment of the Adequacy of Mathematical Models. Workshop on mathematical model analysis and evaluation. Sassari, Italy.

Wilhelm W y McMaster G S. 1995. Phyllochron in grass development and growth en: Symposium on the Phyllochron. Crop Science 35: 1-3.

Yang S, Logan J, Coffey DL. 1995. Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. Agric For Meteorol. 74(1-2):61-74. Doi:10.1016/0168-1923(94)02185-M

4. Momento óptimo de cosecha para el kikuyo de acuerdo al filocrono y la fertilización nitrogenada

Amanda Acero-Camelo¹, Zoot, MSc; Martha L. Pabón¹, Quím, MSc, PhD; Gerhard Fischer², Ing. Hort., MSc, PhD; Juan E. Carulla¹, MSc, PhD;

¹Grupo de Investigación en Nutrición Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, ² Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia

Resumen

Con el objetivo determinar el momento óptimo de cosecha del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov. Morrone) teniendo en cuenta el número de hojas verdes por estolón y la fertilización nitrogenada se realizó un experimento en materas bajo condiciones de invernadero. Se evaluaron un total de 16 tratamientos con tres repeticiones cada uno en un diseño factorial 4*4. Los factores fueron el número de hojas por estolón al momento de la cosecha y el nivel de fertilización nitrogenada. Se evaluaron 3, 4, 5 y 6 hojas por estolón (H3, H4, H5 y H6) y una aplicación de 0, 50, 100 y 150 kg de N ha⁻¹ año⁻¹ (N0, N50, N100, N150). En cada repetición (dos materas) se determinó el rendimiento de materia seca y la calidad nutricional. Adicionalmente, se evaluó el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la altura sin disturbar mediante un diseño de medidas repetidas y la densidad de estolones y el filocrono mediante un diseño completamente al azar. El rendimiento en materia seca y la calidad de la pastura respondió de manera independiente a los factores evaluados. Aumentar el número de hojas por macollo (3 a 6)

aumentó el rendimiento de hojas (549 vs 657 kg MS ha⁻¹ corte⁻¹, p=0,022) y el material muerto (317 vs 539 kg MS ha⁻¹ corte⁻¹, p=0,0001), la relación hoja:tallo se mantuvo más o

menos constante (0,5 vs 0,46, $p=0,79$), disminuyó la proporción de material verde:muerto (0,57 vs 0,40, $p=0,0051$) y la proteína cruda (10,7 vs 9,6%, $p=0,0004$) mientras que aumentó la FDN entre H3 y H5 (62,6 vs 64,0%, $p=0,023$) en las hojas. Los cambios en la calidad en hojas fueron menores y para algunas variables no se presentaron diferencias (FDA y lignina). En los tallos al aumentar el número de hojas disminuyó la proteína cruda (3,8 vs 3%, $p=0,0018$), la FDN (62,6 vs 58,6%, $p=0,0034$), la lignina (7,0 vs 5,6, $p=0,0011$) y las cenizas (4,9 vs 3,6, $p<0,0001$). La fertilización nitrogenada aumentó ($p<0,05$) la altura sin disturbar, la densidad de estolones, la producción de materia seca a partir de hojas, tallos y forraje vivo, la relación forraje vivo:forraje muerto, el contenido de proteína cruda (PC) en hojas y disminuyó ($p<0,05$) el contenido de fibra en detergente neutro (FDN) en hojas y tallos. El filocrono fue mayor ($p=0,038$) en N0. La pastura de kikuyo sin fertilizar no alcanzaría suficiente fitomasa ($2500 \text{ kg MS ha}^{-1}$) para ser pastoreada dentro del rango de hojas por macollo estudiadas en este trabajo. Para los demás tratamientos con fertilización N, 5 hojas serían suficientes para alcanzar dicho nivel y con el nivel más alto de fertilización podría cosecharse entre 3 y 4 hojas. Por lo cual, la fertilización N no solo aumenta la productividad de la pastura sino permite reducir el período de descanso y mejorar la calidad de la pastura.

Palabras clave: kikuyu, *Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov. Morrone, componentes de rendimiento

Abstract

In order to determine the optimum harvest time of the kikuyo grass (*Cenchrus clandestinus* Hochst ex Chiov. Morrone) taking into account the number of green leaves per stolon and nitrogen fertilization, an experiment was carried out in pots under greenhouse conditions. A total of 16 treatments were evaluated with three repetitions in a 4 * 4 factorial design. The factors were the number of leaves per stolon and the level of nitrogen fertilization. 3, 4, 5 and 6 leaves were evaluated by stolon (H3, H4, H5 and H6) and the application of 0, 50, 100 and 150 kg of N ha⁻¹ year⁻¹ (N0, N50, N100, N150). In each repetition (two plants) the dry matter yield and the nutritional quality were determined. Additionally, the effect of nitrogen fertilization on undisturbed height was evaluated by a repeated measures design and the density of stolons and the phylcron by a completely randomized design.

The yield in dry matter and the quality of the pasture responded independently to the factors evaluated. Increasing the number of leaves per tiller (3 to 6) increased leaf yield (549 vs. 657 kg DM ha⁻¹ cut⁻¹, p = 0,022) and dead material (317 vs. 539 kg DM ha⁻¹ cut⁻¹, p = 0.0001), the leaf: stem ratio remained more or less constant (0.5 vs 0.46, p = 0.79), and the proportion of green forage: dead forage (0.57 vs 0, 40, p = 0.0051) and crude protein (10.7 vs. 9.6%, p = 0.0004) decreased. NDF increased between H3 and H5 (62.6 vs. 64.0%, p = 0.023).) in leaves. In the stems, as the number of leaves increased, the crude protein (3.8 vs. 3%, p = 0.0018), the NDF (62.6 vs. 58.6%, p = 0.0034), the lignin (7.0 vs 5.6, p = 0.0011) and the ashes (4.9 vs 3.6, p <0.0001) decreased. Nitrogen fertilization increased (p <0.05) undisturbed height, density of stolons, production of dry matter from leaves, stems and green forage, the green forage: dead forage ratio and crude protein content (PC) in leaves and decreased (p <0.05) the content of neutral detergent fiber (NDF) in leaves and stems. The phyllochron was higher (p = 0.038) in N0. Kikuyo pasture without fertilizing would not reach enough biomass (2,500 kg DM ha⁻¹) to be grazed within the range of leaves per tiller studied in this work. For the other treatments with N fertilization, 5 leaves would be enough to reach this level and with the highest level of fertilization could be harvested between 3 to 4 leaves. Therefore, fertilization N not only increases the productivity of the pasture, but also reduces the rest period and improves the quality of the pasture.

Keywords: *Cenchrus clandestinus*, *Pennisetum clandestinum*, leaf stage, yield components

4.1 Introducción

El momento óptimo de cosecha de una pastura se puede definir como un equilibrio entre la producción de materia seca y la calidad de la pastura. Al aumentar la edad de la pastura, la producción de materia seca aumenta, pero la calidad nutricional declina debido a un incremento en el contenido de FDN y FDA y una reducción en la PC y la digestibilidad (Canseco *et al.*, 2007). Igualmente, a medida que la planta inicia su proceso de senescencia, se presenta acumulación de material muerto y en algunos casos la relación hoja:tallo disminuye, reduciendo la proporción de material consumible por parte del animal (Anwandter *et al.*, 2007). Este balance entre calidad y cantidad se logra con un manejo adecuado de la frecuencia de pastoreo, determinada por el momento óptimo de cosecha. A su vez la frecuencia de pastoreo influye en la cantidad de reservas que tenga la planta para el rebrote. Si se pastorea muy temprano es posible que los carbohidratos de reserva y el área foliar disponible no sean suficientes para sostener el rebrote subsecuente al pastoreo, demorando el crecimiento y disminuyendo la producción anual de materia seca, en casos severos puede generarse una degradación de la pastura. Por el contrario, si se pastorea muy tarde la pastura pierde calidad y la tasa de acumulación de material verde se reduce (Chapman *et al.*, 2011).

El momento óptimo de cosecha donde se logra una adecuada producción de materia seca, calidad nutricional y persistencia de la pastura no puede asignarse en base a edades cronológicas de una pastura ya que las plantas crecen a diferentes tasas dependiendo de las condiciones ambientales y en particular de las temperaturas ambientales (McMaster y Wilhelm, 2003; Herrero *et al.*, 2000b), por lo cual se han identificado características de la planta (estado fenológico, hoja bandera, entre otras) que permitan manejar reglas de decisión de fácil uso por parte del productor sobre el momento óptimo de cosecha. Una de estas características ha sido el número de hojas vivas que se mantienen en cada estolón o macollo, antes del inicio de la senescencia de la primera hoja que emergió después del pastoreo (Chapman *et al.*, 2011). Se ha postulado que el número de hojas verdes en un rebrote que se presentan al inicio de la senescencia de la primera hoja que emerge después del pastoreo o corte es constante y que el número dependería de la especie forrajera (Fulkerson y Lowe, 2003).

Para el caso del Kikuyo, principal especie forrajera de los altiplanos del trópico alto Colombiano (Mila y Corredor, 2004), Reeves y Fulkerson (1996) encontraron que en un

estado entre 4 y 5 hojas por estolón, la pastura se encontraba en un punto óptimo de calidad nutricional y que en este punto la planta tenía suficiente cantidad de carbohidratos de reserva para el rebrote siguiente. Después de este número de hojas, ellos encontraron que la calidad del kikuyo empezaba a disminuir debido a la senescencia de las hojas más viejas. Sin embargo, más recientemente el trabajo realizado por Fonseca *et al.* (2016) en el departamento de Boyacá en Colombia a 2.560 m.s.n.m, concluyó que la calidad del kikuyo no cambiaba de manera importante entre las 4 y 6 hojas por estolón y que la mayor producción de materia seca se alcanzaba en el estado de 6 hojas.

Por otra parte, el modelo de crecimiento para el kikuyo desarrollado por Herrero *et al.* (2000b) sugirió que el número óptimo de hojas por estolón para la cosecha estaría influenciado por el nivel de fertilización nitrogenada. El modelo desarrollado estimó que sin fertilización nitrogenada el número óptimo de hojas para cosechar el kikuyo sería cercano a 7, ya que antes no se alcanzaría la fitomasa requerida para el ingreso de los animales al pastoreo ($>2500 \text{ kg MS ha}^{-1}$), mientras que con un nivel de fertilización de 100 kg N ha^{-1} el número de hojas requerido sería menor (4 a 6). Estos autores sugieren que la fertilización nitrogenada aumenta la tasa de elongación foliar y por tanto la tasa de acumulación de fitomasa, reduciendo el tiempo requerido para acumular la cantidad suficiente para el pastoreo. Una repuesta positiva en la tasa de crecimiento como consecuencia de la fertilización con N ha sido comprobada en otros estudios con gramíneas forrajeras (Borrajó y Alonso, 2014; Gastal *et al.*, 1992). Esta respuesta estaría relacionada con el efecto del suministro de nitrógeno sobre la producción de células, más que sobre la elongación de las mismas, aunque este mecanismo aún se encuentra en discusión (Gastal y Lemaire, 2002).

El objetivo de este trabajo fue determinar el momento óptimo de cosecha del pasto kikuyo usando como criterio el número de hojas vivas por estolón y establecer si variaba con la fertilización nitrogenada, como lo sugirió el modelo desarrollado por Herrero *et al.* (2000b).

4.2 Materiales y Métodos

El experimento se llevó a cabo en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, a una altura de 2600 msnm y una temperatura promedio de 14°C . Las unidades experimentales se mantuvieron bajo invernadero, con

registro constante de temperatura y humedad relativa.

Se sembraron estolones de pasto kikuyo en 96 macetas plásticas (34 x 27 x 12 cm), a una densidad de 12 estolones por maceta, utilizando para todas las macetas un suelo del mismo origen (Tabla 14). Se aplicó riego para mantener la humedad del suelo a capacidad de campo. El establecimiento del kikuyo en las macetas tuvo una duración de 4 meses, considerando que estaba establecido cuando el 80% de las macetas se encontraban completamente cubiertas por estolones de kikuyo. En este momento se realizó un corte de homogenización a una altura de 3cm y se dio inicio a las mediciones.

Tabla 14. Análisis del suelo utilizado en el estudio

Parámetro	Valor
Clase textural	FAr
pH	5,4
A.I. (cmol(+)/ kg)	0,66
SAI (%)	5,8
MO (CO%)	13,8
CIC (cmol(+)/ kg)	54,8
SB (%)	19,6
P (mg/kg)	7,3

FAr= Franco arcillosa

A.I.= acidez intercambiable, SAI = Saturación acidez intercambiable

MO = Materia orgánica como porcentaje del carbono total

CIC= capacidad de intercambio catiónico

SB= Porcentaje saturación de bases

4.2.1 Tratamientos y variables

Se evaluaron un total de 16 tratamientos en un diseño factorial 4*4. Los factores a evaluar fueron el número de hojas por estolón al momento de la cosecha y el nivel de fertilización nitrogenada. Se estudiaron cuatro estados de madurez, 3 (3H) , 4 (4H), 5 (5H) y 6 (6H) hojas por estolón y cuatro niveles de fertilización, 0 (N0), 50 (N50), 100 (N100) y 150 (N150) kg N ha⁻¹ año⁻¹. La fuente de nitrógeno utilizada fue urea. Adicionalmente se hicieron aplicaciones de fósforo (69 kg ha⁻¹ año⁻¹), potasio (90 kg ha⁻¹ año⁻¹) y sulfato de magnesio (25 kg ha⁻¹ año⁻¹) de acuerdo a los requerimientos del kikuyo (Bernal y Espinosa 2003) en todos los tratamientos. Los tratamientos fueron asignados aleatoriamente a las 96 macetas, teniendo 3 repeticiones por tratamiento, cada repetición

estuvo conformada por dos macetas que mantuvieron la misma ubicación dentro del invernadero y fueron cosechadas de manera simultánea. Las variables evaluadas fueron la producción de materia seca de hojas vivas, tallos vivos, forraje verde (hojas vivas + tallos vivos) y forraje muerto, relación hoja tallo y relación forraje verde: forraje muerto. En cada fracción se determinó el contenido de proteína cruda (PC), fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), lignina, extracto etéreo (EE) y cenizas para hojas y tallos.

Adicionalmente se tomaron al azar 8 macetas dentro de cada nivel de nitrógeno a las cuales se les realizó mediciones de altura sin disturbar, densidad de estolones y tasa de aparición de hojas para determinar efecto de la fertilización nitrogenada sobre estas variables.

4.2.2 Mediciones y Análisis de las muestras

Una vez realizado el corte de homogenización se iniciaron las mediciones de aparición de hojas, altura sin disturbar y densidad de estolones. Se midió la altura sin disturbar en cinco puntos de cada maceta para promediar posteriormente los valores y se contaron los estolones presentes en cada maceta para determinar la densidad. Se marcó un estolón por maceta para las mediciones de aparición de hojas que se hicieron a intervalos de cuatro días. Se determinó el filocrono, expresado como los grados día necesarios para la aparición de una hoja utilizando la siguiente fórmula:

$$TT = \sum_{i=1}^n Ti - nTb$$

Dónde:

TT es el tiempo térmico para la aparición de una hoja, Ti es la temperatura media diaria (°C) para el día i y Tb es la temperatura base (°C). Como temperatura base se tomó 8°C, de acuerdo a lo reportado por Ivory y Whiteman (1978).

Semanalmente se tomaron al azar 5 estolones por maceta para contar el número de hojas por estolón. Cuando el promedio de las macetas se encontraba en el número de

hojas correspondientes a su tratamiento, se cosecharon y se separaron las fracciones hoja, tallo y forraje muerto para realizar los análisis correspondientes.

Las muestras de las fracciones hoja, tallo y material muerto fueron secadas a 65°C por 48 horas y posteriormente molidas. La proteína cruda (PC), fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), extracto etéreo (EE), cenizas y lignina, calidad nutricional de las fracciones se estimó por NIRS (Near infrared spectroscopy), de acuerdo a las ecuaciones generadas para pasturas de kikuyo por Ariza-Nieto *et al.* (2018).

4.2.3 Análisis estadístico

Para el análisis de la información se usaron tres modelos experimentales diferentes. Para el análisis de los resultados de las variables producción de materia seca a partir de hojas, tallos, proporción de forraje verde y forraje muerto, relación hoja tallo y para la composición nutricional de hojas y tallos se utilizó un modelo completamente al azar con arreglo factorial 4*4 (fertilización nitrogenada * número de hojas por estolón). Previamente se revisó el cumplimiento de los supuestos del modelo: homogeneidad del material experimental y distribución normal del error experimental, con media cero y varianza común. Fue necesario realizar transformaciones en algunas variables para dar cumplimiento a la homogeneidad de varianzas y se aceptó en otras la falta de normalidad cuando cumplieron el supuesto de homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene, la cual se considera robusta a la falta de normalidad.

El primer modelo utilizado (Martínez et al 2011) para las variables de producción de MS y calidad de la pastura fue el siguiente:

$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \xi_{ijk}$, Donde:

$i=1,2,3,4$ $j= 1,2,3,4$ $k= 1,2,3$

μ = Media

α_i = Efecto de la fertilización nitrogenada

β_j = Efecto de el número de hojas por estolón

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre la fertilización nitrogenada y el número de hojas por estolón

ξ_{ijk} = Error experimental

El segundo modelo utilizado (Martínez et ál 2011) para el análisis de la variable altura sin disturbar, analizada mediante un diseño de medidas repetidas en el tiempo se presenta a continuación. Igualmente se verificó el cumplimiento de los supuestos.

$Y_{ij}: \mu + \tau_i + P_j + (\tau P)_{ij} + \xi_{ij}$ Donde:

$i=1,2,3...8$ $j= 1,2,3,4$

μ = Media

τ_j = Efecto de la fertilización nitrogenada

P_i = Efecto del tiempo

$(\tau P)_{ij}$ = Interacción entre el tratamiento y el tiempo

ξ_{ij} = Error experimental

El tercer modelo se utilizó para determinar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la densidad de estolones y el filocrono, análisis realizado mediante un diseño completamente al azar (Martínez et ál 2011).

$Y_{ij}: \mu + \tau_j + \xi_{ij}$

Donde:

$j= 1,2, 3 \text{ y } 4$

$ij= 1, 2,3 ...12$

μ = Media

τ_j = Efecto de la fertilización nitrogenada

ξ_{ij} = Error experimental

La comparación de medias para todas las variables se hizo por la prueba de HSD de Tukey, excepto para la altura sin disturbar en donde se utilizó la prueba de Hotelling.

4.3 Resultados

Para la mayoría de variables respuesta, los factores (número de hojas por estolón, fertilización nitrogenada) se comportaron de manera independiente. Por lo cual, se hará énfasis en los efectos principales de los factores y la interacción solo se discutirá cuando esté presente.

4.3.1 Producción de materia seca

La producción (kg MS ha^{-1}) de hojas y forraje vivo aumentó al aumentar el número de hojas o la fertilización (Tabla 15). Las diferencias en rendimiento fueron evidentes a partir de la quinta hoja (Figura 13) y de los $50 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Figura 14). El mayor rendimiento de hojas se alcanzó con $150 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Figura 14). El rendimiento en tallos aumentó con la fertilización nitrogenada pero el efecto de cosechar a un mayor número de hojas no fue claro (Tabla 15). La producción de forraje muerto varió con el número de hojas a la cosecha pero su respuesta dependió del nivel de fertilización ($p=0,0451$). Para los tratamientos con fertilización nitrogenada, la producción de material muerto fue similar para la cosecha a H3 o H4 y mayor para H5 y H6 (Tabla 15). En el caso del tratamiento sin N no hubo diferencias en la producción de material muerto entre número de hojas (Tabla 15). La relación hoja: tallo no se vio influenciada por el número de hojas a la cosecha o la fertilización con N mientras que la relación FV:FM se redujo al aumentar el número de hojas a la cosecha o la fertilización nitrogenada (Tabla 15).

Tabla 15. Producción de materia seca del pasto kikuyo con diferentes niveles de fertilización nitrogenada y diferente número de hojas por estolón

	Hojas (kg ha ⁻¹)	Tallos (kg ha ⁻¹)	Forraje vivo (kg ha ⁻¹)	Forraje muerto (kg ha ⁻¹)	Hoja : Tallo	FV : FM
Interacción						
NO						
H3	401	1182	1583	320 a	0,35	4,95
H4	332	694	1026	311 a	0,49	3,48
H5	438	1091	1529	488 a	0,49	3,23
H6	363	761	1124	365 a	0,48	3,09
N50						
H3	514	993	1507	358 ab	0,62	4,48
H4	537	1062	1600	311 a	0,57	5,09
H5	579	1627	2206	530 bc	0,36	4,22
H6	616	1476	2092	583 c	0,42	3,62
N100						
H3	541	1182	1723	251 a	0,47	7,06
H4	550	1354	1905	274 ab	0,47	7,06
H5	581	1354	1935	385 ab	0,49	5,11
H6	666	1431	2097	450 b	0,47	4,76
N150						
H3	741	1425	2166	341 a	0,57	6,31
H4	752	1244	1995	321 a	0,61	6,27
H5	768	1536	2304	476 ab	0,50	4,88
H6	984	2073	3057	757 b	0,47	4,35
E.E.	40	212	211	50	0,09	0,75
P	0,0751	0,2616	0,0790	0,0451	0,7331	0,8976
Efectos principales						
Hojas						
H3	549a	1196	1745 ab	317	0,50	5,7b
H4	543a	1088	1631 a	305	0,53	5,5b
H5	591ab	1402	1994 ab	470	0,46	4,4ab
H6	657b	1435	2092 b	539	0,46	4,0a
E.E.	20	106	106	25	0,05	0,4
P	0,0022	0,0974	0,0141	<0,0001	0,6303	0,0051
Nitrógeno						
N0	384 a	981 a	1315 a	371	0,45	3,7a
N50	562 b	1290 ab	1851 b	445	0,49	4,4ab
N100	585 b	1330 b	1915 b	340	0,48	6,0c
N150	811 c	1570 b	2381 c	474	0,54	5,5bc
E.E.	20,0	106,0	105,5	24,8	0,05	0,4
P	0,0001	0,0009	0,0001	0,0005	0,6057	0,0005

Letras diferentes: diferencia significativa p<0.05; EE: error estándar de la media; FV:FM: relación forraje verde:forraje muerto

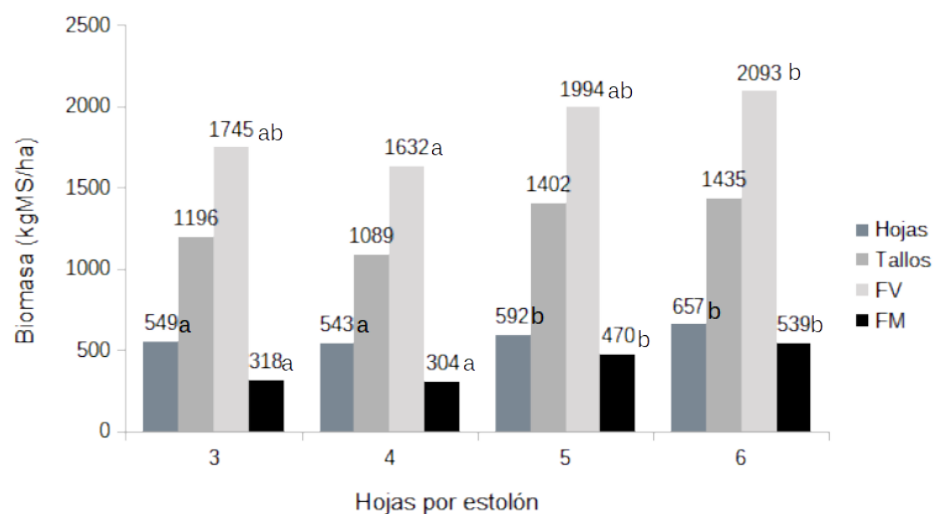


Figura 13. Producción de hojas, tallos, forraje verde (FV) y forraje muerto (FM) de acuerdo al número de hojas por estolón en el pasto kikuyo

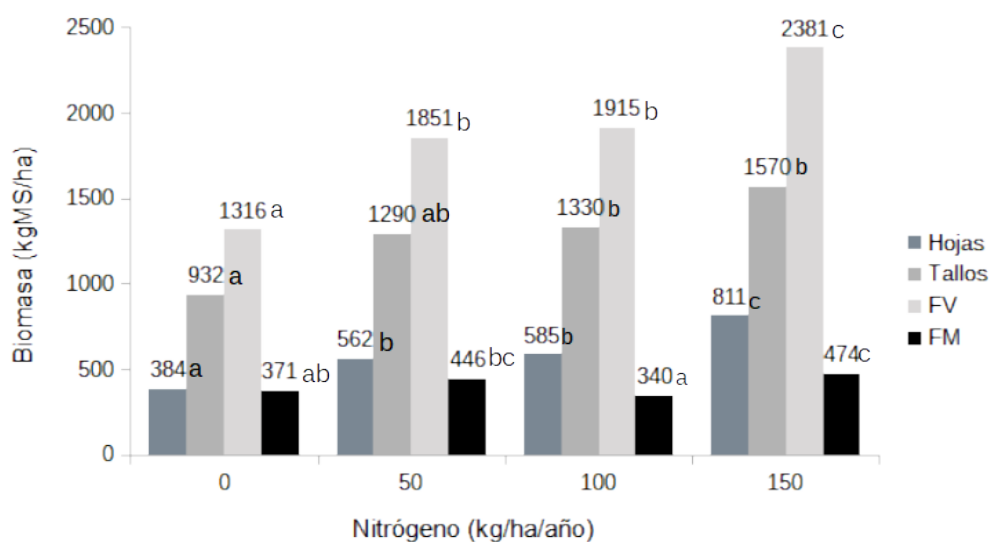


Figura 14. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la producción de hojas, tallos, forraje verde (FV) y forraje muerto (FM) en el pasto kikuyo

4.3.2 Composición Química

Aumentar el número de hojas por estolón (rebrote) a la cosecha redujo el nivel de proteína tanto en hojas como en tallos de una manera leve y esta diferencia solo fue significativa entre el kikuyo cosechado a 3H y 6H (Tabla 16 y 17). Para la FDN, aumentar el número de hojas por estolón a la cosecha aumentó el contenido en hojas (Tabla 16) pero no en tallos (Tabla 17) y las diferencias fueron pequeñas entre los tratamientos a la cosecha. En las hojas la FDA y las cenizas no se modificaron como consecuencia de aumentar el número de hojas por estolón a la cosecha, sin embargo en los tallos se redujeron los contenidos de FDA y cenizas, siendo menores en H6 (Tabla 16 y 17).

Aumentar la fertilización N aumento el nivel de proteína en hojas pero no en tallos, redujo los niveles de FDA en hojas y tallos y los niveles de lignina en hojas pero no en tallos (Tabla 16 y 17).

Tabla 16. Composición química de las hojas de kikuyo con diferentes niveles de fertilización nitrogenada y diferente número de hojas por estolón

	PC (%)	FDN (%)	FDA (%)	Lignina	EE	Cenizas
Interacción						
NO						
H3	9,3	63,3	29,9	6,9	1,8	9,7
H4	9,3	63,9	30,0	6,4	1,7	9,8
H5	8,8	65,9	31,5	7,5	1,6	10,1
H6	8,5	64,6	30,0	7,5	1,8	9,7
N50						
H3	10,1	63,4	30,6	6,7	1,7	9,7
H4	9,3	63,5	29,6	6,2	1,7	9,2
H5	10,1	63,5	30,0	6,5	1,7	10,0
H6	9,2	63,9	30,4	6,5	1,8	9,5
N100						
H3	10,9	62,3	30,2	6,7	1,8	9,9
H4	10,2	63,6	30,0	6,2	1,7	9,6
H5	9,4	63,5	29,1	6,0	1,8	9,4
H6	9,7	63,2	30,5	6,2	1,7	9,3
N150						
H3	12,7	61,4	30,0	6,8	1,8	10,1
H4	11,4	62,3	30,0	6,2	1,7	9,8
H5	10,1	63,0	29,5	6,4	1,8	9,8
H6	11,1	62,2	30,1	6,5	1,7	9,7
E.E.	0,38	0,46	0,44	0,27	0,04	0,30
P	0,1115	0,2793	0,0839	0,5056	0,1054	0,8057
Efectos principales						
Hojas						
H3	10,7 b	62,6 a	30,2	6,8	1,8 a	9,8
H4	10,1 ab	63,3 ab	29,9	6,3	1,7 a	9,6
H5	9,6 a	64,0 b	30,0	6,6	1,7 a	9,8
H6	9,6 a	63,5ab	30,2	6,5	1,8 a	9,5
E.E.	0,19	0,23	0,22	0,14	0,02	0,15
P	0,0004	0,0023	0,7015	0,0740	0,0151	0,3833
Nitrógeno						
no						
N0	9,0 a	64,4 c	30,4	6,9 b	1,7	9,8
N50	9,7 ab	63,6 cb	30,2	6,5 ab	1,8	9,6
N100	10,1 b	63,2 b	29,9	6,3 a	1,8	9,6
N150	11,4 c	62,2 a	29,9	6,5 ab	1,8	9,8
E.E.	0,19	0,23	0,22	0,14	0,02	0,15
P	<0,0001	<0,0001	0,4176	0,0319	0,1437	0,4335

Letras diferentes: diferencia significativa $p < 0.05$; E.E.: error estándar de la media

Tabla 17. Composición química de los tallos de kikuyo con diferentes niveles de fertilización nitrogenada y diferente número de hojas por estolón

	PC (%)	FDN (%)	FDA (%)	Lignina	EE	Cenizas
Interacción						
NO						
H3	3,4	65,6	29,9	7,5	1,18	4,6
H4	3,7	63,9	29,2	7,2	1,27	5,3
H5	2,7	59,7	27,7	6,0	1,31	3,8
H6	3,3	60,5	27,5	6,1	1,36	3,6
N50						
H3	3,8	59,2	26,9	6,0	1,30	4,5
H4	3,6	60,2	27,9	5,5	1,33	4,7
H5	3,6	58,3	26,7	5,7	1,27	4,6
H6	2,5	58,3	25,8	5,6	1,36	3,1
N100						
H3	3,7	63,7	28,7	7,3	1,45	5,1
H4	3,9	61,2	28,5	5,8	1,38	4,9
H5	3,3	58,1	25,9	5,4	1,29	4,1
H6	3,0	57,1	26,1	5,3	1,40	3,4
N150						
H3	4,2	62,1	28,2	7,2	1,10	5,5
H4	3,9	60,3	26,6	6,5	1,22	5,2
H5	3,8	58,1	25,5	5,2	1,37	4,7
H6	3,2	58,1	26,6	5,4	1,35	4,1
E.E.	0,30	1,7	1,1	0,5	0,08	0,24
P	0,4052	0,9148	0,9462	0,6827	0,4868	0,1000
Efectos principales						
Hojas						
H3	3,8 b	62,6 b	28,4 a	7,0 b	1,26	4,9 c
H4	3,8 b	61,4 ab	28,1 a	6,3 ab	1,30	5,0 c
H5	3,4 ab	58,7 a	26,4 a	5,6 a	1,31	4,3 b
H6	3,0 a	58,6 a	26,5 a	5,6 a	1,37	3,6 a
E.E.	0,2	0,8	0,6	0,3	0,04	0,12
P	0,0018	0,0034	0,0305	0,0011	0,2433	<0,0001
Nitrógeno						
N0	3,3	62,4 b	28,6	6,7	1,28	4,3 a
N50	3,4	59,0 a	26,8	5,7	1,31	4,2 a
N100	3,5	60,2 ab	27,3	6,0	1,38	4,4 a
N150	3,8	59,7 ab	26,7	6,1	1,26	4,9 b
E.E.	0,2	0,9	0,6	0,3	0,04	0,12
P	0,2127	0,0485	0,1171	0,0661	0,1572	0,0030

Letras diferentes: diferencia significativa $p < 0.05$; E.E.: error estándar de la media

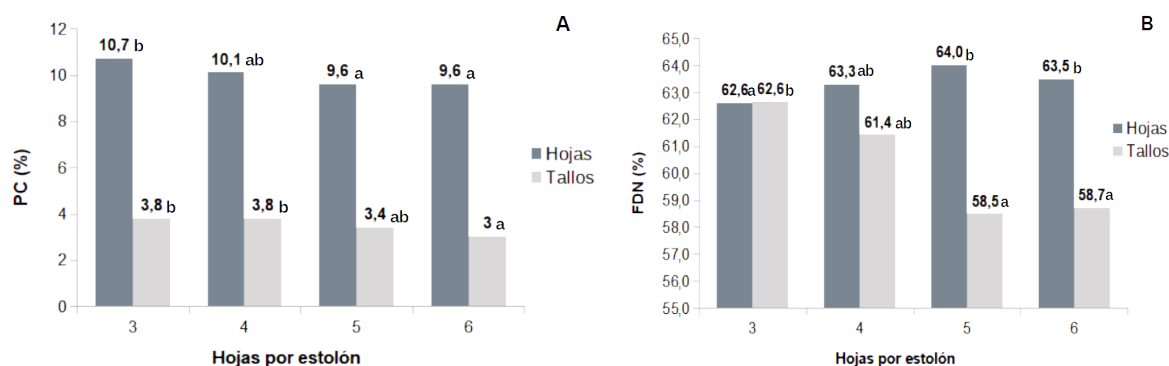


Figura 15. Contenido de PC (A) y FDN (B) en hojas y tallos de pasto kikuyo a diferentes estados de hoja.

4.3.3 Variables estructurales y filocrono

La fertilización nitrogenada aumentó la altura sin disturbar y la densidad de estolones de kikuyo, mientras que redujo el filocrono (Tabla 18). Sin embargo, para la densidad de estolones la diferencia solo fue significativa para el nivel mas alto de fertilización nitrogenada (Tabla 18).

Tabla 18. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la altura sin disturbar, la densidad de estolones y el filocrono en plantas de kikuyo bajo invernadero

	N0	N50	N100	N150	EE	p
ASD (cm)	19.2a	21.9b	23.7c	23.9c	0,23	<0.0001
Densidad estolones (No./maceta)	99.7a	112.5a	109.4a	132.9b	4,7	0.0001
Filocrono (GDC)	150.4a	121.0b	136.4ab	115.5b	9,15	0.038

^{abc} Letras diferentes dentro de una fila diferencia significativa $p < 0.05$, EE: error estándar de la media

ASD: Altura sin disturbar; GDC: grados día de crecimiento

4.4 Discusión

Con este experimento se buscó probar la hipótesis de la relación entre el momento óptimo de cosecha de acuerdo al filocrono con la fertilización nitrogenada, según lo propuesto por Herrero et ál. (2000b), en el modelo de crecimiento desarrollado para el kikuyo. Aunque la interacción entre el número de hojas por estolón al momento de la

cosecha y la fertilización nitrogenada no fue significativa en la mayor parte de las variables, se encontró que cuando no se fertilizó o incluso con bajos niveles de fertilización (N50), no se logró alcanzar la fitomasa recomendada para el ingreso al pastoreo (2600 kg MS ha⁻¹) (García et ál 2014) en los estados de hojas evaluados. Aunque en general la fitomasa obtenida en este experimento fue baja, comparada con las producciones encontradas en condiciones de campo (Escobar, 2018; Fonseca *et al.*, 2016), con los mayores niveles de fertilización (N100 y N150) la fitomasa recomendada se alcanzó en H6 y H5 respectivamente, comprobándose la relación entre el momento óptimo de cosecha y el nivel de fertilización utilizado. De esta manera se evidencia como a través de la fertilización nitrogenada es posible reducir el tiempo de descanso de las praderas, con la posibilidad de alcanzar mayores producciones anuales de forraje.

4.4.1 Número de hojas por estolón

En cuanto a acumulación de fitomasa se encontró que la producción de hojas y forraje vivo (kg MS ha⁻¹) aumentó con el número de hojas por estolón, siendo significativamente mayores en H5 y H6. Aunque en la producción de tallos (kg MS ha⁻¹) no hubo una diferencia significativa entre el número de hojas por estolón, se observó una tendencia a mayores producciones en H5 y H6 (Tabla 15), las cuales al sumarse con la producción de hojas hacen significativa la diferencia en producción de forraje vivo. Sin embargo, como se explicó anteriormente, dependiendo de la fertilización nitrogenada utilizada, será posible o no que estas producciones sean suficientes para el pastoreo.

Aunque la producción de forraje muerto se comportó de manera diferente según el nivel de fertilización utilizado, dado que en ausencia de nitrógeno no hubo diferencias en la cantidad de forraje muerto entre estados de hojas, en los demás tratamientos con presencia de nitrógeno, la producción de material muerto fue mayor en H6 respecto a H3 y H4. De la misma manera la relación FV: FM (Tabla 15) fue menor en H6 que en H3 y H4, lo cual indicaría que solo a partir de H6 es importante considerar las pérdidas por senescencia en el kikuyo. Este resultado difiere de lo reportado por Reeves y Fulkerson (1996), quienes encontraron que la proporción de forraje muerto aumentaba sustancialmente después de cuatro hojas por estolón.

Uno de los argumentos por el cual trabajos previos han recomendado como momento óptimo de cosecha el estado de 4,5 hojas es la relación hoja: tallo, la cual según dichos trabajos disminuía después de 4 hojas por estolón (Fulkerson *et al.*, 1999; Reeves y

Fulkerson, 1996). En este experimento la relación hoja: tallo se mantuvo constante independientemente del estado de hojas y no fue influenciada por la fertilización nitrogenada. Este resultado coincide con lo encontrado por Fonseca *et al.* (2016) en un estudio realizado en Colombia y lleva a pensar que los cambios en la proporción de tallos en las praderas de kikuyo para los estados de 4 a 6 hojas no ocurren bajo las condiciones del trópico, manteniéndose una armonía entre la cantidad de hojas y tallos dentro de la pradera, dado el hábito de crecimiento estolonífero de la especie. Si bien en el estudio de Fulkerson *et al.* (1999), al considerar la producción anual se encontró que la proporción de tallos aumentaba entre estados de hojas, con proporciones de 9,5%, 13,1% y 20% para 2, 4 y 6 hojas respectivamente, al mirar las respuestas por estaciones los resultados difieren. Para la estación de verano no hubo diferencias en la proporción de tallos entre los estados de hojas y en otoño – invierno, cuando las condiciones de temperatura son similares a las del trópico de altura de Colombia, no hubo diferencias entre 4 y 6 hojas, siendo menor la proporción de tallos solo para el estado de 2 hojas, resultados similares a lo encontrado en el presente estudio. Las proporciones de hojas y tallos encontradas en este trabajo coinciden con las de estudios previos (Ivory y Whiteman 1978) en los cuales se cosechó toda la planta incluyendo los estolones que se encuentran a nivel del suelo, lo cual generó una mayor producción de materia seca de tallos que de hojas, pero difieren de las proporciones que muestran estudios realizados en campo como los de Molina (2018) y Fonseca *et al.* (2016) con cortes a partir de los 5cm, en donde la cantidad de hojas es mayor que la de tallos, siendo estas últimas más representativas del material disponible para el consumo por parte del animal.

Respecto a los cambios en la calidad nutricional de acuerdo al número de hojas por estolón, los resultados muestran que a partir de H5 la calidad empieza a cambiar, reduciéndose el contenido de PC y aumentando el contenido de FDN respecto a H3. Sin embargo, entre H4, H5 y H6 no se encontraron diferencias significativas, contrario a lo reportado por Reeves y Fulkerson (1996) y coincidiendo con lo encontrado por Fonseca *et al.* (2016). En los tallos se encontró un comportamiento particular que se atribuye al hecho de haber cosechado la planta completa. Hubo una disminución en el contenido de FDN y de lignina en H5 y H6, posiblemente por la aparición de nuevos estolones secundarios con menor contenido de pared celular, mientras que en H3 y H4, predominaron estolones primarios que pudieron generar este efecto sobre la calidad.

Es pertinente mencionar que los valores obtenidos en este experimento para PC y FDN difieren de manera importante de los encontrados en condiciones de campo para el

kikuyo. En general los valores de PC son inferiores a los reportados en literatura ($17,8\% \pm 0,9$) (García *et al.*, 2014) y los valores de FDN superiores ($58,3\% \pm 1,5$) (García *et al.*, 2014), posiblemente por las características del suelo utilizado, el cual resultó altamente restrictivo en el aporte de nitrógeno. El suelo utilizado en este experimento provenía de páramo ($>2800\text{m.s.n.m}$), suelos caracterizados por una coloración oscura, alto contenido de materia orgánica ($>6\%$ C.O.), pH generalmente ácido, CIC adecuada ($50-100\text{meq}/100\text{g}$), textura FAr a Far (IDEAM 1999), aspectos que coinciden con los resultados del análisis de suelos realizado (Tabla 14). El alto contenido de materia orgánica de estos suelos ha sido relacionado con una baja mineralización debido a las bajas temperaturas que limitan la actividad biológica (IDEAM 1999) y a factores químicos, físicos y biológicos entre los cuales están las deficiencias de P y N que afectan el crecimiento microbiano, además de la elevada capacidad de adsorción enzimática por coloides inorgánicos y la inhibición de ciertas enzimas (proteasas) (Munevar y Wollum 1983). Estas características del suelo llevaron a que el tratamiento N0 resultara muy limitante en nitrógeno para la planta, aspecto reflejado en el escaso crecimiento obtenido y en la dificultad para el establecimiento del kikuyo en las macetas de este tratamiento. Así mismo, para los demás tratamientos el rendimiento fue bajo y como se mencionó previamente la calidad nutricional menor a la encontrada en otros trabajos.

Los resultados de este experimento muestran que la mejor calidad del kikuyo se encuentra en H3, pero difícilmente en este estado es posible alcanzar la fitomasa suficiente para el pastoreo, por lo cual sería recomendable dependiendo de la fertilización y el aporte de nitrógeno del suelo cosechar la pastura entre los estados H4 y H5. Aunque en el estado H6 no hay diferencias importantes en calidad nutricional respecto a H4 y H5, inician las pérdidas por senescencia en la pastura, lo cual impacta negativamente la eficiencia de uso de la misma.

4.4.2 Fertilización nitrogenada

Diferentes autores han reportado la respuesta positiva que presenta el kikuyo a la fertilización nitrogenada, en términos de rendimiento y calidad (García *et al.*, 2014, Dugmore 2011, Palacio 2005, Marais 2001, Castillo *et al.* 1983), resultados que coinciden con lo encontrado en este trabajo. Con la fertilización nitrogenada se logró una mayor producción de materia seca a partir de hojas, tallos y de forraje vivo, alcanzándose la mayor producción con N150. Aunque la fertilización nitrogenada tendió a aumentar la cantidad de material muerto, al considerar la proporción de forraje vivo: forraje muerto, la

respuesta fue positiva, ya que se obtuvo la mejor relación con los niveles N100 y N150. Castillo *et al.*, (1983) encontraron respuesta favorable en la tasa de crecimiento del kikuyo con niveles hasta de 500kg N ha⁻¹ año⁻¹, pero con una menor eficiencia en la medida que se aumentaba la cantidad de N aplicada, por lo que el nivel óptimo de aplicación está en función de la rentabilidad y no de la máxima respuesta de la especie.

Adicional a los beneficios en la producción de materia seca, la fertilización nitrogenada tuvo un impacto positivo sobre la calidad nutricional del kikuyo en este experimento, similar a lo encontrado por otros autores como Dugmore (2011) y Castillo *et al.* (1983). La fertilización nitrogenada aumentó el contenido de PC y disminuyó el contenido de FDN en las hojas y en el caso de los tallos redujo los contenidos de FDN y aumentó el contenido de cenizas. Uno de los aspectos que ha sido considerado limitante en cuanto a la calidad nutricional del kikuyo es su alto contenido de FDN (García *et al.*, 2014, Correa *et al.*, 2008, Marais 2001), el cual puede llegar a restringir el consumo. El trabajo realizado por Castillo *et al.* (1983) encontró reducción en los contenidos de FDN por efecto de la fertilización nitrogenada con niveles de 0 hasta 500 kg N ha⁻¹ año⁻¹, sin importar la fuente de nitrógeno utilizada, logrando contenidos mínimos de FDN de 53,5%. Estos resultados muestran con el uso de fertilización nitrogenada es posible reducir dentro de los rangos propios de la especie el contenido de FDN y contrarrestar el efecto negativo sobre el consumo de los animales.

La fertilización nitrogenada influyó en la altura sin disturbar y la densidad de estolones, indicando que a través de esta práctica se generan cambios de tipo estructural en las praderas de kikuyo. Con la fertilización nitrogenada aumentó la altura sin disturbar, posiblemente por el efecto del nitrógeno sobre la elongación foliar (Borrajó y Alonso 2014, Gastal *et al.* 1992). Este resultado explica en parte lo observado en zonas con suelos de baja fertilidad y/o lenta mineralización, en donde no se fertilizan las pasturas y el kikuyo elonga poco. También hubo un efecto positivo de la fertilización nitrogenada sobre el establecimiento del kikuyo en las macetas, encontrándose una mayor densidad de estolones con N150. Al respecto, trabajos previos en gramíneas han mostrado que la fertilización nitrogenada puede inducir un mayor macollaje (Dourado *et al.*, 2015), aunque este efecto es mayor en especies que crecen aisladas que en especies de crecimiento denso como el kikuyo, ya que en este último caso, la competencia por la luz entra a jugar un papel importante al limitar en cierta medida el incremento en la densidad, llegando a existir en un momento dado un antagonismo entre la altura y la densidad de la pradera (Colabelli *et al.*, 1998) .

La tasa de aparición de hojas (filocrono) está influenciada en primer lugar por la temperatura y en menor proporción por la humedad del suelo y el contenido de nutrientes (Wilhelm y McMaster 1995). En este trabajo se encontró que la ausencia de fertilización nitrogenada en el pasto kikuyo tendió a aumentar el filocrono. Este resultado coincide con lo reportado por Wilhelm y McMaster (1995), quienes revisaron varios trabajos y concluyeron que solo bajo condiciones extremas el filocrono puede ser modificado por la disponibilidad de nutrientes. Bajo condiciones de suelos de baja fertilidad y con ausencia de fertilización, al aumentar el filocrono, la aparición de hojas va a ser más lenta, retrasando la acumulación de materia seca.

4.5 Conclusiones

Los rendimientos más altos en hojas y forraje vivo (kg MS ha^{-1}) se alcanzaron en H5 y H6 y la mejor calidad nutricional se obtuvo en H3, sin embargo en este número de hojas por estolón con los niveles de fertilización evaluados no se alcanzó una fitomasa suficiente para el pastoreo. Aunque en calidad nutricional no hubo diferencias entre H4, H5 y H6, las pérdidas por senescencia empiezan a ser significativas en H6. Para mantener el equilibrio entre cantidad y calidad lo recomendado sería cosechar el kikuyo entre H4 y H5 dependiendo de la fitomasa presente en la pastura, la cual estaría relacionada con la fertilización y el aporte de N del suelo por procesos de mineralización.

La fertilización nitrogenada permite maximizar la producción de materia seca en las praderas de kikuyo y contribuye al mejoramiento de la calidad nutricional al aumentar los contenidos de proteína cruda y disminuir los contenidos de FDN en hojas y tallos. Así mismo, mejora la relación entre forraje vivo:forraje muerto, la producción de materia seca como hojas y la altura sin disturbar de la pradera.

La relación encontrada entre fertilización nitrogenada y el momento óptimo de cosecha del kikuyo, demuestra que la fertilización es un elemento necesario en el sistema para aumentar la eficiencia de uso de la pastura, al maximizar la producción anual de forraje y permitir la reducción de la frecuencia de pastoreo. Adicionalmente indica que el número de hojas por estolón no puede ser utilizado como único criterio para definir el momento de ingreso al pastoreo, siendo necesario acompañarlo de otros criterios como la fitomasa disponible en la pastura y la altura de la pradera.

4.6 Referencias Bibliográficas

Anwandter V, Balocchi O, Parga J, Canseco C, Teuber N, Abarzúa A, Lopetegui J y Demanet R. 2007. Métodos y control del pastoreo. en: Manejo del pastoreo. Osorno, Chile. Imprenta América.

Ariza-Nieto C, Mayorga OL, Mojica B, Parra D, Afanador-Tellez G. 2018. Use of LOCAL algorithm with near infrared spectroscopy in forage resources for grazing systems in Colombia. J. Near Infrared Spectrosc. Vol 26, issue 1, pp. 44–52.

Borrajo I, Alonso S. 2014. Tasa de elongación foliar en materiales de Agropiro Alargado: efecto de la fenología y el agregado de nitrógeno. En: 37° Congreso AAPA – 2nd Joint Meeting ASAS-AAPA – XXXIX Congreso de la Sociedad Chilena de Producción Animal. Octubre 20, 21 y 22 de 2014.

Canseco C, Abarzúa A, Parga J, Teuber N, Balocchi O. 2007. Calidad nutritiva de las praderas en: Manejo del pastoreo. Osorno, Chile. Imprenta América.

Castillo E, Coward J, Sánchez JM, Jiménez C, López C. 1983. Efecto de la fertilización nitrogenada en la época lluviosa sobre productividad, composición química y digestibilidad in vitro del pasto kikuyo bajo pastoreo en el Cantón de Coronado. Agron. Costarr. 7 (1/2): 9-15.

Colabelli M, Agnusdei M, Mazzanti A, Labreveux M. 1998. El proceso de desarrollo y crecimiento de gramíneas forrajeras como base para el manejo de la defoliación. Boletín 148. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA. Buenos Aires, Argentina.

Correa HJ, Carulla JE, Pabón ML. 2008. Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): I - Composición química y digestibilidad ruminal y posruminal.. Livestock Research for Rural Development 20 (4).

Chapman DF, Tharmaraj J, Agnusdei M, Hill J. 2011. Regrowth dynamics and grazing decision rules: further analysis for dairy production systems based on perennial ryegrass (*Lolium perenne*) pastures. Grass Forage Sci 67:77-95.

Dourado RL, Souza AL, Zanine AM, Toral FLB, Ferreira DJ, Abreu JG. 2015. Structural

and Production Characteristics of Piatã Grass Forage Submitted to Levels of Nitrogen. American Journal of Plant Sciences 6: 693-701.

Dugmore T. 2011. The Effect of Nitrogen Fertilization and Stage of Re-growth on the Nutritive Value of Kikuyu in the Midlands of KwaZulu-Natal. Tesis de Doctorado. School of Agricultural Sciences and Agribusiness, University of KwaZulu-Natal. Pietermaritzburg, Sudáfrica.

Escobar MA. 2018. Efecto de la madurez del pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov.) sobre la producción de biomasa y la composición nutricional en diferentes altitudes de la provincia de Ubaté. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.

Fonseca C, Balocchi O, Keim J P, Rodríguez C. 2016. Efecto de la frecuencia de defoliación en el rendimiento y composición nutricional de *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov. Agro Sur 44 (3): 67-76.

Fulkerson W J, Lowe K F. 2003. Grazing management. In 'Encyclopedia of dairy science. Vol. 2'. (Eds H Roginski, JW Fuquay, PF Fox) pp. 1142–1149. Academic Press: Waltham, MA, USA.

Fulkerson WJ, Slack K, Havilah E. 1999. The effect of defoliation interval and height on growth and herbage quality of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*). Trop Grasslands 33:138-145.

García S C, Islam M R, Clark C E F, Martin P M. 2014. Kikuyu-based pasture for dairy production: a review. Crop and Pasture Science. Journal Compilation CIRO.

Gastal F, Lemaire G. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. Journal of Experimental Botany. Inorganic Nitrogen Assimilation Special Issue. 53 (370): 789–799.

Gastal F, Belanger , Lemaire G. 1992. A model of the leaf extension rate of tall fescue in response to nitrogen and temperature. Annals of Botany 70: 437-442.

Herrero M, Fawcett RH, Silveira V, Busqué J, Bernués A, Dent JB. 2000a. Modelling the growth and utilisation of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) under grazing. 1. Model

definition and parameterization. *Agricultural Systems* 65:73-97.

Herrero M, Fawcett RH, Dent JB. 2000b. Modelling the growth and utilisation of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) under grazing. 2. Model validation and analysis of management practices. *Agricultural Systems* 65:99-111.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. 1999. El Macizo Colombiano y su Área de Influencia. Santafé de Bogotá, D.C. 83-84p.

Ivory DA, Whiteman PC. 1978. Effect of temperature on growth of five subtropical grasses. II. Effect of low night temperature. *Aust J Plant Physiol* 5(2): 149-157.

Marais JP. 2001. Factors Affecting the nutritive value of Kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*)- A review. *Trop Grasslands* 35: 65-84.

Martínez BR, Martínez RN, Martínez Martínez M. 2011. Diseño de Experimentos en Ciencias Agropecuarias y Biológicas con SAS, SPSS, R y STATISTIX. Fondo Nacional Universitario, Bogotá. D.C.

McMaster GS, Wilhelm WW. 2003. Phenological responses of wheat and barley to water and temperature: improving simulation models. *Journal of Agricultural Science* 141:129–147.

Mila A, Corredor G. 2004. Evaluación de la composición botánica de una pradera de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) recuperada mediante escarificación mecánica y fertilización con compost. *Rev Corpoica* 5 (1): 70-75.

Molina, MRE. 2018. Altura de defoliación y recuperación de la pastura Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en la provincia de Ubaté. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Munevar F, Wollum GA. 1983. Factores físicos, químicos y biológicos que influyen en la mineralización de la materia orgánica en andisoles. *Suelos Ecuatoriales* 13(1):57-72.

Palacio CO. 2005. Efecto de la nutrición química sobre poblaciones de insectos chupadores y la producción del pasto kikuyo. Tesis de Maestría. Medellín, Colombia. Universidad Nacional de Colombia.

Reeves M, Fulkerson WJ. 1996. Establishment of an optimal grazing time of kikuyu

pastures for dairy cows. In: Proceedings of the 8th Australian Agronomy Conference; 1996 Enero 30 – Febrero 2, Toowoomba, Queensland. 4p.

Wilhelm W y McMaster G S. 1995. Phyllochron in grass development and growth en: Symposium on the Phyllochron. Crop Science 35: 1-3.

5. Discusión general y recomendaciones

El pasto kikuyo es una gramínea de gran importancia para los sistemas de producción de leche en Colombia, especialmente en el trópico de altura. La fortaleza de esta especie radica en su alta capacidad para acumular materia seca, haciéndola apta para sistemas con alta carga animal y alta producción por hectárea. A pesar de la presencia de esta especie en Colombia hasta los 4.000 m.s.n.m, su crecimiento está estrechamente relacionado con la temperatura como se evidenció en este trabajo. En los sistemas de producción por encima de los 2.7000 m.s.n.m en donde las temperaturas promedio bajan de los 13°C, se alcanza una menor producción de materia seca y el kikuyo pierde capacidad para competir con otras especies, por lo que la composición de las pasturas cambia y se vuelven polifíticas. La temperatura base de crecimiento determinada a través de la aparición de hojas fue de 4,0°C, resultando inferior a la reportada en trabajos previos de 8°C. El tiempo térmico para la aparición de la primera hoja (97,5 GDC) fue mayor que para la segunda (74,2 GDC), tercera (73,8 GDC) y cuarta hoja (76,0 GDC), lo cual está relacionado con la movilización de carbohidratos de reserva necesaria para la emergencia de la primera hoja después del pastoreo. Se encontró que el kikuyo requiere más días calendario para la aparición de una hoja a mayor altitud, dada la menor temperatura media, indicando que a mayor altitud la acumulación de materia seca y el recambio foliar son más lentos, haciendo que la senescencia se presente más tarde. Partiendo de estos resultados se recomienda manejar menores frecuencias de pastoreo y cargas animales más bajas en las zonas altas (>2.700 m.s.n.m.). Adicionalmente el kikuyo presentó menor altura sin disturbar y menor IAF en las praderas polifíticas, indicando un posible cambio en su morfología asociado a la menor temperatura. La menor altura en la pradera encontrada principalmente en la época seca en donde en algunas fincas no superó los 10cm a los 90 días, hace necesario considerar este criterio para decidir el momento de ingreso al pastoreo en la zona alta, para no limitar el consumo por parte de los animales.

El kikuyo es una especie resistente a la sequía comparado con otras gramíneas, sin

embargo su crecimiento disminuye de manera importante en las épocas de menor precipitación. Según los datos de este trabajo se estimó que la diferencia en la producción de MS en la provincia de Ubaté es cercana a 1800 kg ha^{-1} entre la época seca y la época de lluvias. Estas diferencias en la producción de las pasturas a lo largo del año deben ser consideradas al momento de definir las cargas animales de las fincas y al momento de planificar los sistemas de alimentación, de manera que se disponga de alimento para suplir el déficit en los periodos secos.

Para alcanzar máximos rendimientos con el kikuyo se han considerado como elementos importantes además del riego, la fertilización nitrogenada y el manejo de la frecuencia de pastoreo para disminuir las pérdidas por senescencia. En este trabajo la fertilización nitrogenada tuvo un efecto positivo sobre la altura sin disturbar, la densidad de estolones, la producción de materia seca a partir de hojas, tallos y forraje vivo, la relación forraje vivo:forraje muerto y la calidad nutricional (mayores contenidos de PC y menores contenidos de FDN). El kikuyo presentó una óptima calidad en los estados de 3 y 4 hojas y en las 6 hojas la calidad empezó a disminuir, así como la relación forraje vivo: forraje muerto, indicando el inicio de las pérdidas por senescencia. Adicionalmente se encontró una relación importante entre el momento óptimo de cosecha de acuerdo al número de hojas y la fertilización nitrogenada como había sido planteado por otros autores. La oportunidad de cosechar a menor número de hojas está relacionada con la cantidad de materia seca presente en la pastura en cada estado de hojas, la cual se relaciona a su vez con la fertilización nitrogenada y/o el aporte de N del suelo por procesos de mineralización. Sin fertilización y poco N disponible en el suelo, difícilmente se alcanza la biomasa recomendada para el ingreso de los animales ($2500 \text{ kg MS ha}^{-1}$) en el estado de 6 hojas, mientras que con niveles de fertilización nitrogenada de 100 kg ha^{-1} es posible cosechar en el estado de 5 hojas por estolón, por encima de este nivel de fertilización es posible cosechar en los estados de 3 y 4 hojas. De esta manera con la fertilización nitrogenadas es posible reducir la frecuencia de pastoreo y realizar un mayor número de rotaciones al año, aumentando la producción anual de forraje y cosechar el kikuyo con una mejor calidad nutricional.

En el primer experimento se encontró una variación importante entre fincas que no pudo ser explicada por las variables medidas en este trabajo, por lo que aún quedan elementos por considerar en torno al crecimiento del kikuyo como son la disponibilidad de agua en el suelo, la evapotranspiración y características físico-químicas del suelo diferentes al pH y la CIC.

ANEXOS

Anexo 1. Salidas análisis estadístico experimento 1

Materia seca praderas con solo kikuyo

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	-97165.19	20749.84	-4.683	4.17e-05	***
Tpromedio	6622.60	1605.77	4.124	0.000218	***
Precipitacion	1163.86	596.73	1.950	0.059174	.
Edad	62.86	30.42	2.067	0.046223	*
EstadoHojas	1679.12	686.74	2.445	0.019657	*

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2426 on 35 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.758, Adjusted R-squared: 0.7303

F-statistic: 27.4 on 4 and 35 DF, p-value: 2.356e-10

> anova(modelo1)

Analysis of Variance Table

Response: MS

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Tpromedio	1	289402940	289402940	49.1680	3.687e-08	***
Precipitacion	1	49702605	49702605	8.4442	0.006311	**
Edad	1	270858158	270858158	46.0173	7.281e-08	***
EstadoHojas	1	35188850	35188850	5.9784	0.019657	*
Residuals	35	206010267	5886008			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> residuos=residuals(modelo1)

> shapiro.test(residuos)

Shapiro-Wilk normality test

data: residuos

W = 0.96473, p-value = 0.2421

Materia seca praderas polifíticas

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2300.37	-747.59	50.21	610.49	2911.60

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	979.894	601.501	1.629	0.106954
Precipitacion	558.184	145.055	3.848	0.000228 ***
Edad	30.002	5.725	5.241	1.13e-06 ***
FincaF. Alto	-171.894	483.305	-0.356	0.722964
FincaF. Medio	261.676	484.639	0.540	0.590634
FincaSimijaca	1434.350	537.954	2.666	0.009160 **
FincaSusa	250.538	483.340	0.518	0.605547
FincaSutatausa	-959.794	484.172	-1.982	0.050634 .
FincaTausa	-1151.342	483.574	-2.381	0.019479 *

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1184 on 86 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.4723, Adjusted R-squared: 0.4232

F-statistic: 9.62 on 8 and 86 DF, p-value: 2.001e-09

> anova(modelo1)

Analysis of Variance Table

Response: MS

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Precipitacion	1	14914731	14914731	10.6447	0.001584 **
Edad	1	38479710	38479710	27.4630	1.127e-06 ***
Finca	6	54437038	9072840	6.4753	1.158e-05 ***
Residuals	86	120498505	1401145		

Altura sin disturbar praderas de kikuyo

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
ASDX	30	0,63	0,60	2,91	116,72	122,33

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

	Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	1,30	1,10		-0,96	3,55	1,18	0,2487		
Edad	0,06	0,01		0,04	0,09	4,77	0,0001	23,95	1,00
Precipitacion	1,67	0,35		0,95	2,39	4,75	0,0001	23,78	1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	110,45	2	55,22	22,64	<0,0001
Edad	55,44	1	55,44	22,73	0,0001
Precipitacion	55,01	1	55,01	22,55	0,0001
Error	65,86	27	2,44		
Total	176,30	29			

Altura sin disturbar praderas polifíticas

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
ASDX	93	0,74	0,71	0,02	-115,79	-90,46

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

	Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	1,17	0,06		1,05	1,30	18,78	<0,0001		
Edad	0,01	6,0E-04		0,01	0,01	11,28	<0,0001	133,71	
Precipitacion	0,08	0,02		0,05	0,11	5,28	<0,0001	35,59	
Finca_F. Alto	-0,17	0,05		-0,27	-0,07	-3,34	0,0013	19,02	
Finca_F. Medio	-0,20	0,05		-0,29	-0,10	-3,89	0,0002	22,95	
Finca_Simijaca	0,02	0,06		-0,10	0,13	0,29	0,7700	8,10	
Finca_Susa	-0,28	0,05		-0,38	-0,18	-5,61	<0,0001	39,06	
Finca_Sutatausa	-0,28	0,05		-0,38	-0,18	-5,60	<0,0001	38,96	
Finca Tausa	-0,36	0,05		-0,46	-0,26	-7,24	<0,0001	59,80	

Indice de área foliar praderas de kikuyo

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
IAFX	30	0,73	0,70	0,23	37,26	44,26

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

	Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows
VIF								
const		-16,41	5,36	-27,44	-5,39	-3,06	0,0051	
Edad		0,02	3,5E-03	0,01	0,02	4,52	0,0001	22,72
1,00								
Tpromedio		1,23	0,40	0,42	2,04	3,11	0,0045	12,36
1,12								
Precipitacion		0,48	0,10	0,28	0,68	4,90	<0,0001	26,19
1,12								

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	11,63	3	3,88	23,13	<0,0001
Edad	3,43	1	3,43	20,44	0,0001
Tpromedio	1,62	1	1,62	9,68	0,0045
Precipitacion	4,03	1	4,03	24,04	<0,0001
Error	4,36	26	0,17		
Total	15,99	29			

Anexo 2. Salidas análisis estadístico experimento 2

Tiempo térmico

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
TT	36	0,48	0,24	19,52

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5464,82	11	496,80	2,02	0,0729
Municipio	402,94	2	201,47	0,82	0,4531
Hoja	3549,17	3	1183,06	4,81	0,0093
Municipio*Hoja	1512,71	6	252,12	1,02	0,4337
Error	5907,98	24	246,17		
Total	11372,80	35			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=15,99582

Error: 246,1657 gl: 24

Municipio	Medias	n	E.E.
Tausa	76,32	12	4,53 A
Sutatusa	80,34	12	4,53 A
Ubaté	84,51	12	4,53 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=20,40317

Error: 246,1657 gl: 24

Hoja	Medias	n	E.E.
3,00	73,79	9	5,23 A
2,00	74,23	9	5,23 A
4,00	76,01	9	5,23 A
1,00	97,53	9	5,23 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Días calendario

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Días	36	0,55	0,34	19,38

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	80,87	11	7,35	2,64	0,0225
Municipio	21,91	2	10,96	3,94	0,0332
Hoja	43,63	3	14,54	5,23	0,0064
Municipio*Hoja	15,33	6	2,56	0,92	0,4987
Error	66,75	24	2,78		
Total	147,62	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,40515

Error: 2,7811 gl: 24

Municipio	Medias	n	E.E.	
Ubaté	8,03	12	0,48	A
Sutatusa	8,08	12	0,48	A
Tausa	9,71	12	0,48	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,62252

Error: 2,7811 gl: 24

Hoja	Medias	n	E.E.	
3,00	7,91	9	0,56	A
4,00	7,98	9	0,56	A
2,00	8,02	9	0,56	A
1,00	10,51	9	0,56	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 3. Salidas análisis estadístico experimento 3

Peso seco de tallos

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LN PST kg/ha	48	0,56	0,35	4,27

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3,66	15	0,24	2,66	0,0098
Nitrogeno	1,93	3	0,64	7,05	0,0009
Hojas	0,63	3	0,21	2,29	0,0974
Nitrogeno*Hojas	1,09	9	0,12	1,33	0,2616
Error	2,93	32	0,09		
Total	6,58	47			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,33459

Error: 0,0915 gl: 32

Nitrogeno	Medias	n	E.E.	
0,00	6,77	12	0,09	A
50,00	7,10	12	0,09	A B
100,00	7,16	12	0,09	B
150,00	7,33	12	0,09	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,33459

Error: 0,0915 gl: 32

Hojas	Medias	n	E.E.	
4,00	6,93	12	0,09	A
3,00	7,04	12	0,09	A
5,00	7,19	12	0,09	A
6,00	7,20	12	0,09	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,91584

Error: 0,0915 gl: 32

Nitrogeno	Hojas	Medias	n	E.E.	
0,00	4,00	6,53	3	0,17	A
0,00	6,00	6,63	3	0,17	A
50,00	3,00	6,82	3	0,17	A B
0,00	5,00	6,88	3	0,17	A B
50,00	4,00	6,90	3	0,17	A B
0,00	3,00	7,05	3	0,17	A B
100,00	3,00	7,07	3	0,17	A B
150,00	4,00	7,12	3	0,17	A B
100,00	5,00	7,16	3	0,17	A B
100,00	4,00	7,16	3	0,17	A B
150,00	3,00	7,21	3	0,17	A B
100,00	6,00	7,26	3	0,17	A B
50,00	6,00	7,29	3	0,17	A B
150,00	5,00	7,33	3	0,17	A B
50,00	5,00	7,38	3	0,17	A B
150,00	6,00	7,64	3	0,17	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Peso seco de hojas

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Kg/ha	48	0,89	0,84	11,87

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1294289,29	15	86285,95	17,90	<0,0001
Hojas	99792,34	3	33264,11	6,90	0,0010
Nitrogeno	1107135,78	3	369045,26	76,54	<0,0001
Hojas*Nitrogeno	87361,17	9	9706,80	2,01	0,0705
Error	154281,43	32	4821,29		
Total	1448570,72	47			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=76,80212

Error: 4821,2948 gl: 32

Hojas	Medias	n	E.E.	
4,00	542,85	12	20,04	A
3,00	549,20	12	20,04	A
5,00	591,41	12	20,04	A B
6,00	657,23	12	20,04	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=76,80212

Error: 4821,2948 gl: 32

Nitrogeno	Medias	n	E.E.	
0,00	383,53	12	20,04	A
50,00	561,46	12	20,04	B
100,00	584,60	12	20,04	B
150,00	811,09	12	20,04	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Peso seco forraje verde

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LN PS consumible Kg/ha	48	0,66	0,50	2,70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2,53	15	0,17	4,11	0,0004
Nitrogeno	0,92	3	0,31	7,49	0,0006
Hojas	0,99	3	0,33	8,07	0,0004
Nitrogeno*Hojas	0,61	9	0,07	1,67	0,1383
Error	1,31	32	0,04		
Total	3,84	47			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,22387

Error: 0,0410 gl: 32

Nitrogeno	Medias	n	E.E.	
0,00	7,34	12	0,06	A
50,00	7,38	12	0,06	A
100,00	7,54	12	0,06	A B
150,00	7,68	12	0,06	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,22387

Error: 0,0410 gl: 32

Hojas	Medias	n	E.E.	
3,00	7,27	12	0,06	A
4,00	7,47	12	0,06	A B
5,00	7,52	12	0,06	B
6,00	7,68	12	0,06	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Peso seco material muerto

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MM ha	48	0,77	0,66	21,12

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	799766,96	15	53317,80	7,20	<0,0001
Nitrogeno	479285,90	3	159761,97	21,57	<0,0001
Hojas	140829,89	3	46943,30	6,34	0,0017
Nitrogeno*Hojas	179651,17	9	19961,24	2,69	0,0186
Error	237028,97	32	7407,16		
Total	1036795,93	47			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=95,19564

Error: 7407,1552 gl: 32

Nitrogeno	Medias	n	E.E.	
50,00	304,10	12	24,84	A
0,00	317,27	12	24,84	A
100,00	469,77	12	24,84	B
150,00	538,76	12	24,84	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=95,19564

Error: 7407,1552 gl: 32

Hojas	Medias	n	E.E.	
5,00	339,96	12	24,84	A
3,00	370,82	12	24,84	A B
4,00	445,26	12	24,84	B C
6,00	473,86	12	24,84	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Relación Hoja: Tallo

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Relación H:T	48	0,23	0,00	33,10

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,25	15	0,02	0,64	0,8193
Nitrogeno	0,05	3	0,02	0,62	0,6057
Hojas	0,05	3	0,02	0,58	0,6303
Nitrogeno*Hojas	0,16	9	0,02	0,67	0,7331
Error	0,84	32	0,03		
Total	1,09	47			

Medias ajustadas,error estándar y número de observaciones

Error: 0,0263 gl: 32

Nitrogeno Medias n E.E.

0,00	0,45	12	0,05
100,00	0,48	12	0,05
50,00	0,49	12	0,05
150,00	0,54	12	0,05

Medias ajustadas,error estándar y número de observaciones

Error: 0,0263 gl: 32

Hojas Medias n E.E.

5,00	0,46	12	0,05
6,00	0,46	12	0,05
3,00	0,50	12	0,05
4,00	0,53	12	0,05

Medias ajustadas,error estándar y número de observaciones

Error: 0,0263 gl: 32

Nitrogeno Hojas Medias n E.E.

0,00	3,00	0,35	3	0,09
50,00	5,00	0,36	3	0,09
50,00	6,00	0,42	3	0,09
100,00	3,00	0,47	3	0,09
100,00	6,00	0,47	3	0,09
100,00	4,00	0,47	3	0,09
150,00	6,00	0,47	3	0,09
0,00	6,00	0,48	3	0,09
0,00	4,00	0,49	3	0,09
0,00	5,00	0,49	3	0,09
100,00	5,00	0,49	3	0,09
150,00	5,00	0,50	3	0,09
150,00	3,00	0,57	3	0,09
50,00	4,00	0,57	3	0,09
150,00	4,00	0,61	3	0,09
50,00	3,00	0,62	3	0,09

Relación Forraje vivo: forraje muerto

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Relacion FV:FM	48	0,57	0,37	26,51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	71,88	15	4,79	2,87	0,0059
Nitrogeno	39,38	3	13,13	7,87	0,0005
Hojas	25,78	3	8,59	5,15	0,0051
Nitrogeno*Hojas	6,73	9	0,75	0,45	0,8976
Error	53,36	32	1,67		
Total	125,24	47			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,42830

Error: 1,6675 gl: 32

Nitrogeno	Medias	n	E.E.	
0,00	3,68	12	0,37	A
50,00	4,35	12	0,37	A B
150,00	5,45	12	0,37	B C
100,00	6,00	12	0,37	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,42830

Error: 1,6675 gl: 32

Hojas	Medias	n	E.E.	
6,00	3,96	12	0,37	A
5,00	4,36	12	0,37	A B
4,00	5,47	12	0,37	B
3,00	5,70	12	0,37	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,90959

Error: 1,6675 gl: 32

Nitrogeno	Hojas	Medias	n	E.E.	
0,00	6,00	3,09	3	0,75	A
0,00	5,00	3,22	3	0,75	A B
0,00	4,00	3,48	3	0,75	A B
50,00	6,00	3,62	3	0,75	A B
50,00	5,00	4,22	3	0,75	A B
150,00	6,00	4,35	3	0,75	A B
50,00	3,00	4,48	3	0,75	A B
100,00	6,00	4,76	3	0,75	A B
150,00	5,00	4,88	3	0,75	A B
0,00	3,00	4,95	3	0,75	A B
50,00	4,00	5,09	3	0,75	A B
100,00	5,00	5,11	3	0,75	A B
150,00	4,00	6,27	3	0,75	A B
150,00	3,00	6,31	3	0,75	A B
100,00	4,00	7,06	3	0,75	B
100,00	3,00	7,06	3	0,75	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)